

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN-TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGIA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES



**EVALUACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DEL PROCESO DE
SECADO, UTILIZANDO CASCARILLA DE ARROZ Y LIGNITO EN LA
PLANTA DE CEMENTOS SELVA S.A.-2009**

TESIS

**Para obtener el título de:
INGENIERO AMBIENTAL**

**Autor:
ALCIDIA CHÁVEZ CABRERA**

**Asesor:
Dr. JORGE TORRES DELGADO**

MOYOBAMBA – PERÚ

2010

N° DE REGISTRO: 06051209

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN-TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGIA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES



**EVALUACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DEL PROCESO DE
SECADO, UTILIZANDO CASCARILLA DE ARROZ Y LIGNITO EN LA
PLANTA DE CEMENTOS SELVA S.A.-2009**

TESIS

**Para obtener el título de:
INGENIERO AMBIENTAL**

**Autor:
ALCIDIA CHÁVEZ CABRERA**

**Asesor:
Dr. JORGE TORRES DELGADO**

MOYOBAMBA – PERÚ

2010

Nº DE REGISTRO: 06051209



ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la sala de conferencia de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín – T sede Moyobamba y siendo las siete de la noche del día lunes 20 de diciembre de dos mil diez, se reunió el Jurado de Tesis integrado por:

Ing. M.Sc. SANTIAGO ALBERTO CASAS LUNA
Ing. ALFONSO ROJAS BARDÁLEZ
Ing. M.Sc. MIRTHA FELICITA VALVERDE VERA

PRESIDENTE
SECRETARIO
MIEMBRO

Dr. JORGE TORRES DELGADO

ASESOR

Para evaluar la Sustentación de la Tesis Titulado “EVALUACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DEL PROCESO DE SECADO, UTILIZANDO CASCARILLA DE ARROZ Y LIGNITO EN LA PLANTA DE CEMENTOS SELVA S.A.-2009”, presentado por la Bachiller en Ingeniería Ambiental ALCIDIA CHÁVEZ CABRERA; según Resolución N° 0103-2009-UNSM-T/COFE-MOY de fecha 25 de setiembre del 2009.

Los señores miembros del jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica, luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo de BUENO y nota QUINCE (15).

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las 21.00 horas del mismo día, Con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.

Ing. M.Sc. SANTIAGO ALBERTO CASAS LUNA
Presidente

Ing. ALFONSO ROJAS BARDÁLEZ
Secretario

Ing. M.Sc. MIRTHA FELICITA VALVERDE VERA
Miembro

Dr. JORGE TORRES DELGADO
Asesor

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado en primer lugar a Dios, creador de todo lo que existe, quien me provee de salud, entendimiento, derrama su bendición sobre todos y sobre todo el que guía mis pasos día a día brindándome una mirada vigilante en el camino.

A mis padres, Miguel Orlando Chávez López y Leonides Cabrera Bardales, y mis hermanos quienes a pesar de las circunstancias adversas, siempre han sido esos pilares llenos de fortaleza que en todo momento tuvieron una voz de aliento para poder avanzar y concluir con esta meta trazada hace algún tiempo.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, Departamento Académico de Ciencias Ambientales y a todos los docentes que contribuyeron con sus conocimientos para mi formación como profesional.

A Cementos Selva S.A. que como empresa responsable en el cuidado del medio ambiente, bajo la dirección del Gerente Ing. Hugo Pedro Villanueva Castillo, no tuvo ningún inconveniente, de abrir las puertas como institución y brindar todas las facilidades para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

Al Superintendente de producción Ing. William Balcázar Cárdenas, al Jefe de Seguridad y Medio Ambiente Ing. Gustavo Alva Vásquez, al Jefe de Control de Calidad Ing. Gabriel Mansilla Fiestas, quienes me brindaron todas las facilidades para el acceso a las instalaciones de planta, préstamo de equipo de monitoreo e ingreso a los laboratorios y recopilación de información necesaria para el desarrollo de todas las actividades programadas.

A mis padres los mejores, hermanos y tíos, una gran familia con quienes pude contar con su apoyo en todo momento y que a pesar de las circunstancias siempre están presentes.

A mis amigos, los mejores compañeros durante todo este tiempo, quienes a pesar de las distancias tienen una voz de aliento para ser mejor cada día.

A mi Asesor de Tesis Dr. Jorge Torres Delgado, quien incondicionalmente me ha brindado su apoyo en la formulación y revisión de la información para de esta manera ir puliendo el presente trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
INDICE.....	iii
INDICE DE TABLAS.....	v
INDICE DE FOTOS.....	vi
INDICE DE GRÁFICOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CAPITULO I.....	1
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	2
1.3.1. Antecedentes de la investigación.....	2
1.3.2. Bases teóricas.....	5
1.3.2.1. Teoría de un proceso de combustión.....	5
1.3.2.2. Principales clases de contaminantes del aire.....	7
Monóxido de carbono (CO).....	8
Óxidos de nitrógeno (NO _x).....	10
Dióxido de azufre (SO ₂).....	12
1.3.2.3. Principales componentes del arroz.....	13
1.3.2.4. Cascarilla de arroz como fuente de energía.....	14
1.3.2.5. Producción de arroz en el Perú.....	14
1.3.2.6. Producción de arroz en San Martín.....	15
1.3.2.7. La cascarilla de arroz como combustible.....	15
1.3.2.8. Descripción del proceso de secado de materiales en la planta de Cementos Selva S.A.....	15
1.3.2.9. Especificaciones de la estación de monitoreo y de la fuente de emisión en la planta de Cementos Selva S.A.....	18
1.3.2.10. Clima en el departamento San Martín.....	18
1.3.3. Definición de términos.....	19

1.4. VARIABLES.....	22
1.5. HIPÓTESIS.....	22
CAPITULO II.....	23
MARCO METODOLÓGICO.....	23
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
2.1.1. De acuerdo a la orientación: Aplicada.....	23
2.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación: Descriptiva.....	23
2.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	23
2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	23
2.3.1. Población.....	23
2.3.2. Muestra.....	23
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	23
2.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	26
CAPITULO III.....	28
3.1. RESULTADOS.....	28
3.2. DISCUSIONES.....	45
3.3. CONCLUSIONES.....	47
3.4. RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Concentraciones de los gases de combustión CO, SO ₂ y NO _x del proceso de secado utilizando carbón lignito comprendido entre los años 2002-2007.	5
Tabla N° 02: Descripción de la estación de monitoreo para la evaluación de los gases de combustión.	18
Tabla N° 03: Especificaciones de las fuentes de emisión para la evaluación de los gases de combustión.	18
Tabla N° 04: Rangos de detección TESTO 350S.	23
Tabla N° 05: Porcentaje de humedad total de ingreso de la cascarilla de arroz a la cámara de combustión de la Planta de Cementos Selva S.A.	29
Tabla N° 06: Poder calorífico de la cascarilla de arroz.	31
Tabla N° 07: Registro de temperaturas de la cámara de combustión durante las mediciones de las concentraciones de los gases CO, NO _x y SO ₂ en la chimenea del secador en Cementos Selva S.A.	33
Tabla N° 08: Concentración de gases de combustión en la chimenea del secador de la planta de Cementos Selva S.A., diciembre 2009 – marzo 2010.	36
Tabla N° 09: Estadísticas básicas de la concentración de gases de combustión CO, NO _x y SO ₂ , en la chimenea del secador de la planta de Cementos Selva S.A., diciembre 2009 – marzo 2010.	38
Tabla N° 10: Concentración de los gases de combustión CO, NO _x y SO ₂ , en el proceso de secado utilizando cascarilla de arroz en relación a los Límites Máximos Permisibles (LMP).	40

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 01: Cancha de almacenamiento de cascarilla de arroz.	16
Foto N° 02: Tolva y faja de alimentación de la pajilla de arroz a la cámara de combustión	17
Foto N° 03: Equipo analizador de gases múltiples Testo 350 S.....	24
Foto N° 04: Secado de la cascarilla de arroz en la mufla.	28
Foto N° 05: Obtención de la cascarilla molida en base seca.	28
Foto N° 06: Registro directo del poder calorífico al computador, dentro del laboratorio de control de calidad.	31
Foto N° 07: Monitoreo continuo de emisiones en la chimenea del secador.....	35
Foto N° 08: Impresión de reporte de mediciones en la chimenea del secador.	35

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01: Distribución de la zona de secado de materiales en la planta de Cementos Selva S.A. 2010.	16
Gráfico N° 02: Porcentaje de humedad total con la que ingresa la cascarilla de arroz a la cámara de combustión de la planta de Cementos Selva S.A.	30
Gráfico N° 03: Poder calorífico (Kcal/Kg) de la cascarilla de arroz, utilizada como combustible en el proceso de secado de la caliza y arcilla en la planta de cementos Selva S.A.	32
Gráfico N° 04: Temperatura de la cámara de combustión durante las mediciones de las concentraciones de los gases CO, NO _x y SO ₂ en la chimenea del secador en Cementos Selva S.A.....	33
Gráfico N° 05: Relación entre la concentración promedio de Monóxido de Carbono - CO y el Límite Máximo Permisible (LMP).	41
Gráfico N° 06: Relación ente la concentración promedio de Óxido de Nitrógeno - NO _x y el Límite Máximo Permisible (LMP).	42
Gráfico N° 07: Relación ente la concentración promedio de Óxido de Nitrógeno - NO _x y el Límite Máximo Permisible (LMP).	43
Gráfico N° 08: Relación entre temperatura de la cámara de combustión vs CO.	44

RESUMEN

El presente trabajo, tiene como objetivo, evaluar los gases emitidos por la combustión de la cascarilla de arroz en el proceso de secado en la fábrica de Cementos Selva S.A., durante los meses de diciembre del 2009, enero, febrero y marzo del 2010, teniendo en consideración la importancia que implica la utilización de este sub producto que hoy en día se elimina por medio de la combustión a cielo abierto, el cual resulta en pérdidas de energía, así como también en la emisión de varios contaminantes.

En cuanto a las mediciones de las concentraciones de los gases de combustión, estas se efectuaron con una frecuencia de una vez por semana, al azar, donde el Monitoreo Continuo de Emisiones (MCE), se realizó durante un periodo total de 60 minutos, con intervalos de tiempo de 15 minutos, obteniendo concentraciones para los gases de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂), los que al ser contrastados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la legislación ambiental vigente, y mediante la utilización de una prueba estadística, se determinó que encuentran por debajo de los LMP.

Durante la etapa de campo se realizaron actividades tales como las mediciones del porcentaje de humedad de la cascarilla de arroz, antes del ingreso a la cámara de combustión, obteniendo valores mínimos y máximos que fluctuaron entre 9.48% y 20.94% respectivamente, así mismo se realizaron mediciones del poder calorífico de la cascarilla obteniendo como resultado valores entre 2937 Kcal/Kg y 3328 Kcal/Kg; para la ejecución de estas actividades se utilizaron los ambientes y procedimientos establecidos, en el laboratorio de control de calidad, ubicada dentro de las instalaciones de la planta de Cementos Selva S.A.

La temperatura de la cámara de combustión fue registrada del tablero de control del área del secador, variando entre 176°C y 679 °C, dichas temperaturas influyen en las concentraciones de los gases de combustión emitidos al ambiente.

Además para la etapa de gabinete se utilizó datos meteorológicos tales como la temperatura ambiental y la humedad relativa, registrada por la estación VANTAGE PRO 2 y proporcionada por la empresa, datos que fueron utilizados para algunas comparaciones.

ABSTRACT

The present study aims to assess the gases emitted by burning rice husk in the drying process in the factory of Cementos Selva SA, during the months of December 2009, January, February and March 2010, taking into account the importance of involving the use of this by-product that eliminates today through open burning, which results in energy losses, as well as the emission of several pollutants.

As for the measurements of concentrations of combustion gases, these were made with a frequency of once a week, at random, where the Continuous Emissions Monitoring (CEM), was conducted over a total period of 60 minutes, time intervals of 15 minutes, obtaining concentrations of the gases carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and sulfur dioxide (SO₂), which when contrasted with the permissible limits (MPL) of legislation environmental legislation, and through the use of a statistical test, it was determined that fall below the LMP.

During the stage of field study was conducted activities such as measuring the moisture content of rice husks, before entering the combustion chamber, giving minimum and maximum values ranging between 9.48% and 20.94% respectively, were likewise measurements of the calorific value of husk which resulted in values between 2937 kcal / kg and 3328 Kcal / kg and for the implementation of these activities were used environments and procedures, the quality control laboratory, located within the premises of plant of Cementos Selva SA

The temperature of the combustion chamber was recorded on the control panel of the dryer area, ranging from 176 ° C and 679 ° C, these temperatures affect the concentrations of combustion gases emitted into the environment.

In addition to the stage of cabinet was used meteorological data such as temperature and relative humidity recorded by the Vantage Pro 2 and provided by the company, data that were used for some comparisons.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

De los tres grandes medios naturales que pueden ser contaminados debido a la actividad industrial (agua, suelo y aire); en un contexto amplio, la falta de calidad de aire puede afectar de forma directa bien al interior de un recinto industrial (desde un garaje hasta una cementera), bien al exterior cuando se emiten gases contaminantes a la atmósfera; en el primer caso, afecta directamente a las personas que desarrollan sus actividades en el recinto industrial y en el segundo caso puede tener consecuencias para plantas, animales y personas ajenas a la actividad industrial y también podría llegar a contaminar agua y suelo.

La contaminación del aire es un proceso que se inicia a partir de las emisiones al aire desde los diferentes focos emisores de contaminantes a la atmósfera, por lo tanto para minimizar la contaminación atmosférica es necesario, por un lado el control de las emisiones atmosféricas (niveles de emisión) y por otro lado, el control y la vigilancia de la presencia de los contaminantes en el aire (Garrido., 1999).

La mayor parte de los procesos productivos, el transporte, la producción del cemento, la generación de electricidad y los sistemas domésticos dependen de la energía derivada de los combustibles fósiles. La emisión se ha incrementado 3,5 veces de 1950 a la presente década (Montoya et al., 1995).

La contaminación del aire puede tener impactos negativos sobre la salud pública cuando su concentración en la atmósfera alcanza niveles significativos; en la mayor parte de las áreas rurales los problemas de calidad de aire se dejan sentir sólo raras ocasiones mientras que con frecuencia en muchos ambientes urbanos se registran elevadas concentraciones de contaminantes (DeLuchi., 1993).

Por todo lo mencionado anteriormente en el presente trabajo nos planteamos el siguiente problema: ¿Cuáles son las condiciones y características de las emisiones gaseosas del CO, NOx y SO₂ en el proceso de secado utilizando cascarilla de arroz en la fábrica de Cementos Selva S.A.?

1.2. OBJETIVOS.

1.2.1. Objetivo general.

- Evaluar los gases de combustión del proceso de secado utilizando cascarilla de arroz en la planta de Cementos Selva S.A.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Medir el porcentaje de humedad con la que ingresa la cascarilla de arroz a la cámara de combustión.
- Determinar el poder calorífico de la cascarilla de arroz.
- Registrar la temperatura de la cámara de combustión durante las mediciones de las concentraciones de los gases de combustión.
- Determinar la concentración de los gases Monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NOx) y Dióxido de azufre (SO₂).

1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

1.3.1. Antecedentes de la investigación.

El origen de nuestros problemas modernos de contaminación del aire puede remontarse a la Inglaterra del siglo XVIII y al nacimiento de la revolución industrial, el principal problema de la contaminación del aire a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX fue el humo y cenizas producidas por la quema de combustibles fósiles en las plantas estacionarias de energía, la situación empeoró con el uso del automóvil.

Las emisiones de contaminantes transportados por el aire pueden causar daños a grandes distancias de la fuente de emisión. La persistencia atmosférica promedio del azufre y los óxidos de nitrógeno en las latitudes europeas, por ejemplo es de dos a tres días, periodo durante el cual estas sustancias pueden ser transportadas de 1.500 a 3.000 kilómetros, al tiempo que sufren reacciones químicas que pueden ser nocivas desde una perspectiva ambiental (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – Foro Ambiental Mundial a Nivel Ministerial – Octubre 2005.).

Durante la combustión se pueden efectuar varias reacciones secundarias, estas reacciones incluyen la generación de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), dibenzo-p-dioxinas policloradas (Dioxinas) y dibenzofuranos (furanos); estos compuestos son contaminantes importantes y su emisión a la atmósfera debe ser reducida al mínimo. El monóxido de carbono se forma durante el proceso de combustión cuando no existen cantidades de oxígeno para que todo el carbono de la corriente gaseosa se convierta en dióxido de carbono esto puede ser resultado o bien de una alimentación insuficiente de aire al oxidante o una mezcla insuficiente dentro de la cámara de combustión. (E.Roberts Alley y Associates).

La planta de Cementos Artigas en minas ubicada al noreste de Montevideo (Uruguay), de capitales españoles, utiliza la cáscara de arroz para reducir 10.000 toneladas de gases de efecto invernadero anuales en un proyecto a 10 años iniciado en 2002 en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio, (MDL) del Protocolo de Kyoto, (Bossi., 2008).

En el Proyecto piloto realizado por ITDG-Perú titulado “Utilización de la cascarilla de arroz como fuente energética en Ladrilleras” Las actividades se realizaron en el distrito de la Huaca, provincia Paita, departamento Piura. El mismo que tuvo como objetivo sustituir la leña de algarrobo por cascarilla de arroz como combustible entre los pequeños productores de ladrillos, desarrollando técnicas que permitan el empleo eficiente de la cascarilla de arroz en el proceso de quema, teniendo como resultado que en la actualidad los ladrilleros involucrados han asumido la cascarilla como combustible para su producción y en la actualidad 21 ladrilleros han asumido su uso, logrando la sustitución de aproximadamente 1700 toneladas de leña por 2700 toneladas de cascarilla al año. (Sánchez, 2001).

En la Tesis “Caracterización de partículas en suspensión del medio atmosférico urbano en Segunda Jerusalén Rioja-2005” se concluye que los niveles de concentración del material particulado en suspensión en el medio atmosférico área de la población de Segunda Jerusalén, Rioja, San

Martín Perú, se encuentra por debajo del Estándar Calidad Ambiental (ECA) para las partículas totales suspendidas (PTS) y PM10. Asimismo el proceso de inmisión de material particulado en suspensión en el medio atmosférico tiene incidencia sobre todos los actores ambientales analizados (abióticos, bióticos y sociales), la calificación general de los impactos es óptimo alto; asimismo que con la finalidad de preservar la calidad del medio atmosférico de la ciudad de Segunda Jerusalén, es necesario llevar a cabo una serie de actividades de control, mitigación y prevención de la contaminación atmosférica y material particulado en suspensión. (Clemente., 2006).

Cementos Selva S.A., es una empresa que se dedica a la elaboración y fabricación de cemento, así como de otros materiales de construcción y afines, incluida su comercialización y venta.

Se encuentra ubicado en el Km. 468 de la carretera Fernando Belaunde Terry, en el distrito Elías Soplín Vargas, provincia Rioja, departamento San Martín.

Cementos Selva S.A. en sus inicios para el secado de materiales (caliza y arcilla), utilizaba como combustible el carbón lignito, la quema de este combustible en la cámara de combustión, se venía realizando hasta agosto del 2007, asimismo es importante recalcar que desde el 2002 se vinieron efectuando monitoreos periódicos de las emisiones por algunas empresas consultoras externas entre las cuales figuran JJJ Asociados S.A. , Enviro Proyect S.A y J. Ramón del Perú S.A.C. para determinar las concentraciones de los contaminantes, tal es así que con la quema de lignito según los registros se observa que en cuanto a las emisiones de CO se han obtenido concentraciones que pasan los Límites Máximos Permisibles (LMP) en la mayoría de las fechas monitoreadas teniendo como máxima concentración la del 1er semestre del 2002 con 3010 mg/m³, y en pocos casos obteniendo concentraciones mínimas como la efectuada en agosto del 2007 con 38.8 mg/m³; en el caso de las concentraciones del SO₂ y el NO_x estas se encuentran por debajo de los LMP en todas las mediciones efectuadas en las diferentes fechas.

Tabla N° 01: Concentraciones de los gases de combustión CO, SO₂ y NO_x del proceso de secado utilizando carbón lignito comprendido entre los años 2002-2007.

Gases de combustión utilizando carbón lignito			
Fecha	CO	NO_x	SO₂
	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1er Semestre 2002	2628.38	70.17	5.59
2do Semestre 2002	1091.52	123.64	11.18
1er Semestre 2003	163.73	68.5	6.87
2do Semestre 2003	2410.07	104.32	0
1er Semestre 2004	1637.28	83.95	0
Junio 2006	149.01	33.73	71.08
Agosto 2006	75.72	103.02	80.3
Noviembre 2006	70.92	0	0.31
Abril 2007	71	171.99	0
Mayo 2007	151.72	0	0.027
Agosto 2007	33.88	99.51	0
Promedio	771,2027	78,0755	15,9415
Intervalo de confianza al 97,5%	[94,85-1447,55]	[43,16-112,99]	[0-35,99]

Fuente: Enviro Proyect S.A. 2002 -2005

JJL Asociados S.A. 2006.

J. Ramón del Perú S.A. 2007.

1.3.2. Bases teóricas.

En la actualidad, el fenómeno atmosférico de mayor importancia es el cambio climático, generado por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero, los mismos que provocan el aumento de la temperatura global en la atmósfera. Este fenómeno se debe a dos causas que son: el consumo de combustible fósil por las naciones industrializadas como causa principal y el cambio en el uso del suelo (Brow y Lugo., 1992).

1.3.2.1. Teoría de un proceso de combustión.

Reacción de combustión.

Se trata de una reacción de oxidación, donde se libera controladamente la energía interna del combustible manifestándose en forma de calor. Para que un combustible sufra la combustión, es necesario que alcance su temperatura de ignición.

En una reacción de oxidación tendremos:

Primer miembro		Segundo miembro
Combustible	→	Gases de combustión
Comburente		Calor

Fases de la reacción de combustión.

Se pueden distinguir tres fases en la reacción de combustión:

Fase de pre reacción (formación de radicales).

Los compuestos hidrocarbonados se descomponen dando lugar a la formación de radicales, que son unos compuestos intermedios inestables y muy activos, para que de este modo el carbono y el hidrógeno puedan reaccionar con el oxígeno.

Fase de Oxidación.

En esta fase se produce la combinación entre los elementos y el oxígeno. Es una fase muy exotérmica y es cuando tiene lugar la propagación de la llama.

Fase de Terminación.

Aquí es cuando se forman los compuestos estables. El conjunto de estos compuestos es lo que llamamos gases de combustión, es necesario que se produzca una gran coordinación entre la 1era. y la 2da. fase, ya que si no podría llegar a producirse una explosión, por acumulación de radicales. La explosión se produce por la masa reaccionante a una velocidad de 1500-2500 m/s, producirse más de una detonación si después de la primera queda producto.

Existen varias propiedades que caracterizan a los combustibles, dependiendo de su composición físico-química. Una de las más importantes para el proceso de combustión es el poder calorífico, cantidad que representa el calor desprendido debido a la combustión completa del combustible por unidad de masa (o volumen).

1.3.2.2. Principales clases de contaminantes del aire.

La **Environmental Protection Agency**, en la **Clean Air Act de 1972**, ha listado cinco principales contaminantes del aire según el criterio de los contaminantes, son materiales en partículas, el dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. En 1976 se adicionó el plomo a esta lista.

La materia en partículas consiste en sustancias sólidas o líquidas que pueden ser visibles o invisibles. Las partículas afectan la visibilidad y pueden ser transportadas por el viento a grandes distancias. Las partículas pequeñas PM10 son particularmente peligrosas para la salud humana porque su pequeño tamaño hace posible que pasen a través de los vellos de las fosas nasales y lleguen al interior de los pulmones.

Los Óxidos de Azufre (SOx) son gases acres, corrosivos y tóxicos que son producidos cuando se quema algún combustible que contiene azufre. Las plantas de energía que queman carbón producen alrededor de 60% del SOx total que hay en la atmósfera, las que queman petróleo, alrededor del 14 % y los procesos industriales aproximadamente el 22%.

El Monóxido de Carbono (CO) es un gas incoloro inodoro y venenoso que se produce por la combustión incompleta del carbono de los combustibles. Aproximadamente dos terceras partes de CO de la atmósfera es producido por los motores de combustión interna, en cantidad abrumadora por los vehículos de motor de gasolina.

Los Óxidos de Nitrógeno (NOx) se producen cuando el combustible se quema a temperaturas muy altas. Las fuentes estacionarias producen aproximadamente el 49% de los NOx de la atmósfera los vehículos de motor el 39 %, y otras fuentes el 12%. Bajo la influencia de la luz solar los NOx se combinan con los hidrocarburos gaseosos para formar oxidantes fotoquímicos,

principalmente ozono (O_3). Otros compuestos nocivos de nitrógeno incluyen nitratos de peroxiacilo (PAN), aldehídos y acroleína. Ocasionalmente irritación en los ojos y en los pulmones daños a la vegetación olores molestos y neblina espesa.

Los hidrocarburos se pueden producir a partir de combustibles no quemados y desperdiciados. Los hidrocarburos son importantes a causa de su papel en la formación de smog fotoquímico. Los compuestos más reactivos, llamados compuestos orgánicos volátiles (VOC) se producen por evaporación de los procesos industriales, especialmente la evaporación de disolventes de los procesos de pintura.

El plomo tiene un efecto adverso sobre la salud y el bienestar. El envenenamiento con plomo tiene un efecto destructivo sobre el sistema nervioso central. Proviene principalmente de la combustión del plomo del combustible y de las operaciones de pintura con base de plomo.

- **Monóxido de carbono (CO).**

El monóxido de carbono, es un gas inodoro, incoloro e insípido, ligeramente menos denso que el aire, constituido por un átomo de carbono y uno de oxígeno en su estructura molecular, no irritante pero sumamente tóxico.

Formación.

El monóxido de carbono, es producto de la combustión incompleta de material que contiene carbono. Un proceso de combustión que produce CO en lugar de CO_2 resulta cuando la cantidad de oxígeno requerida es insuficiente, y depende de la temperatura de flama, tiempo de residencia en la cámara de combustión y turbulencia en la misma.

Estos parámetros se tienen mejor controlados en fuentes estacionarias de combustión que en vehículos automotores.

Fuentes de emisión.

Procesos naturales (volcanes, incendios forestales, etc.)

Procesos industriales (refinerías de petróleo, fábricas de papel, fundiciones, industria química, entre, etc.).

Móviles. (motores de combustión interna)

Aproximadamente el 70 % de las emisiones de CO provienen de fuentes móviles. Las concentraciones horarias de CO a menudo reflejan patrones de tráfico vehicular.

La permanencia media de las moléculas de CO en la atmósfera, es de un mes aproximadamente, antes de oxidarse y convertirse en CO₂.

Efectos sobre el ambiente y la salud.

La concentración de monóxido de carbono en el aire, representa aproximadamente el 75% de los contaminantes emitidos a la atmósfera; sin embargo, es una molécula estable que no afecta directamente a la vegetación o los materiales.

Es importante conocer que se emite más monóxido de carbono al aire durante los meses de invierno, esto se debe a que el combustible es consumido con menos eficacia a bajas temperaturas; pues el aire se estanca más cuando el medio ambiente es frío, cuando el aire se estanca no se mezcla bien, así que la contaminación se queda en el medio ambiente. Su importancia radica en los daños que puede causar a la salud humana al permanecer expuestos por períodos prolongados a concentraciones elevadas de éste contaminante.

El CO tiene la capacidad de unirse fuertemente a la hemoglobina, la proteína de los glóbulos rojos que contiene hierro y la cual se encarga de transportar el oxígeno a las células y tejidos a través de la sangre. Al combinarse el CO con la hemoglobina, forma carboxi hemoglobina (COHB), lo cual indica una reducción significativa en la oxigenación de nuestro

organismo (hipoxia), debido a que el CO tiene una afinidad de combinación 200 veces mayor que el oxígeno.

La hipoxia causada por CO puede afectar el funcionamiento del corazón, del cerebro, de las plaquetas y del endotelio de los vasos sanguíneos. Su peligro es mayor en aquellas personas que padecen enfermedades cardiovasculares, angina de pecho o enfermedad vascular periférica. Se le ha asociado con la disminución de la percepción visual, capacidad de trabajo, destreza manual y habilidad de aprendizaje. (Brown., 1998).

- **Óxidos de Nitrógeno (NO_x).**

El NO_x es un término genérico que hace referencia a un grupo de gases muy reactivos siendo los más importantes **Óxido Nítrico (NO)** y el **Dióxido de Nitrógeno (NO₂)**, estos constituyen dos de los óxidos de nitrógeno más importantes toxicológicamente, ninguno de los dos son inflamables.

El óxido nítrico es un gas a temperatura ambiente de olor dulce penetrante, fácilmente oxidable a dióxido de nitrógeno. El dióxido de nitrógeno es un líquido a temperatura ambiente pero se transforma en un gas pardo-rojizo a temperatura sobre los 21 °C, de esta manera forma en el aire junto a las partículas en suspensión una capa entre rojiza y marrón que cubre muchas zonas urbanas.

Formación.

Los óxidos de nitrógeno se forman cuando se quema combustible, el proceso de formación más habitual de estos compuestos inorgánicos es la combustión a altas temperaturas, proceso en el cual habitualmente el oxígeno del aire es el comburente.

Bajo condiciones ricas (de alta proporción de combustible respecto al aire), disminuyen los niveles de O_2 y la temperatura, por lo que la producción de NO_x también es baja. A medida que aumenta la relación aire-combustible, la temperatura aumenta y la producción de NO_x se incrementa hasta un máximo, a partir del cual tiende a reducirse la temperatura de la flama debido a la dilución con el exceso de aire y, por lo tanto, los niveles de NO_x disminuyen progresivamente.

Fuentes de emisión.

Transporte. Vehículos motorizados, ferrocarriles, embarcaciones.

Combustión de productos energéticos. Fuentes estacionarias, plantas de energía.

Procesos industriales

Eliminación de desechos sólidos

Procesos naturales. Incendios forestales.

Las principales fuentes de emisión de los NO_x son los sistemas de combustión, fuentes fijas estacionarias (centrales térmicas) o móviles (vehículos automóviles), y algunos procesos químicos.

Efectos sobre el ambiente y la salud.

En la atmósfera, los óxidos de nitrógeno pueden contribuir a la formación de ozono fotoquímico (smog o niebla contaminante), así como también son importantes contribuyentes potenciales de fenómenos nocivos como la lluvia ácida, calentamiento global y la eutrofización, este último ocurre cuando un cuerpo de agua sufre un notable incremento de nutrientes como los nitratos reduciendo la cantidad de oxígeno disuelto, transformando el ambiente en un medio no viable para los seres vivos.

Tienen efectos nocivos sobre la respiración y el sistema respiratorio. Se ha demostrado que exposiciones prolongadas a dióxido de nitrógeno (NO_2) pueden disminuir los niveles de la

función pulmonar y aumentar el riesgo de padecer síntomas respiratorios, especialmente en personas asmáticas y en niños, más vulnerables al tener una frecuencia respiratoria mayor que los adultos.

En determinadas condiciones ambientales tienen un efecto indirecto importante sobre la salud humana, ya que contribuyen a formar partículas de origen fotoquímico. Hay estudios que indican que estas partículas, sobre todo las más finas, pueden provocar enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Los episodios de contaminación fotoquímica (como el smog) pueden provocar efectos inmediatos sobre el aparato respiratorio de muchas personas sensibles. (Forzatti., 1996).

- **Dióxido de azufre (SO₂).**

Es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante y con sabor ácido picante, su vida media en la atmósfera es corta, de unos 2 a 4 días y es considerado un importante contaminante primario.

Formación.

El SO₂ se forma de la combustión de material combustible ricos en azufre se oxida y forma ácido sulfúrico, H₂SO₄ un componente de la llamada lluvia ácida que es nocivo para las plantas, provocando manchas allí donde las gotitas del ácido han contactado con las hojas (Atkins., 1998).

Fuentes de emisión

Naturales. Asociadas a la emisiones oceánicas y a la volcánicas

Antrópicas. Estas se pueden agrupar en:

Fuentes móviles. Tenemos al transporte público y privado.

Fuentes fijas. Calderas, hornos, centrales termoeléctricas, fundiciones de metales.

Efectos sobre el ambiente y la salud

El dióxido de azufre, es causa directa de la lluvia ácida cuyos efectos son muy importantes tanto en las grandes ciudades acelerando la corrosión de edificios y monumentos, como en el campo, produciendo la acidez de lagos, ríos y suelos, producen lesiones en el follaje, fruto de árboles y plantas, en selvas, bosques y áreas de cultivo porque altera la fotosíntesis.

Las principales preocupaciones en materia de salud asociados con la exposición a altas concentraciones de SO₂ incluyen los efectos en la respiración, enfermedades respiratorias, alteraciones en las defensas pulmonares, y el agravamiento de las enfermedades cardiovasculares. Los niños, los ancianos y las personas con asma, enfermedades cardiovasculares o enfermedad pulmonar crónica (como bronquitis o enfisema), son los más susceptibles a los efectos adversos para la salud asociados con la exposición a SO₂.

1.3.2.3. Principales componentes del arroz.

La planta de arroz, científicamente denominada *Oriza sativa* y perteneciente a la familia de las gramíneas, está constituida por cuatro componentes principales:

- a) **El germen.** La parte más rica en nutrientes, ácidos grasos, aminoácidos y enzimas, y que se constituye en la parte germinal que da lugar al crecimiento del grano.
- b) **El endospermo.** Representa alrededor del 70% del volumen del grano y constituye al final del proceso el producto denominado arroz blanco.
- c) **La cutícula o polvillo.** Alcanza un 6.8% en volumen en el grano de arroz, utilizado como alimento para animales por su alto contenido de grasas.
- d) **La cáscara o pajilla.** Constituye aproximadamente 20% en peso del grano y que es separado en el proceso de pilado

formándose verdaderas montañas de cascarilla al costado de los molinos, lo que ocasiona problemas de espacio por la acumulación de este desecho (Mayorga., 2000).

1.3.2.4. Cascarilla de arroz como fuente de energía.

Grandes cantidades de cáscara de arroz se generan anualmente como el mayor sub producto de los molinos industriales. La producción anual mundial de arroz está alrededor de 500 millones de toneladas y asumiendo que el 20 % sea cáscara, la producción anual mundial de cáscara de arroz es de aproximadamente 100 millones de toneladas. A pesar de la tendencia al incremento del sobrante de cáscara de arroz, los métodos propios para su utilización tienen que ser aún desarrollados. Hoy día, la mayor parte del excedente de cáscara de arroz se destruye o elimina por medio de la combustión a cielo abierto, lo cual resulta en pérdidas de energía (calor), así como también en la emisión de varios contaminantes hacia la atmósfera. Sin embargo, muchos países tienen implantados nuevas regulaciones para limitar (restringir) la quema de la cáscara de arroz en el campo, principalmente por razones ambientales. Esto trae como consecuencia un mayor interés en utilizar la cáscara de arroz como una fuente de energía renovable. La conversión de la cáscara de arroz en combustibles líquidos o gaseosos será beneficio para los países que no tienen fuentes de energías convencionales, cuyas economías están atadas o limitadas a las industrias agrícolas y locales; además de la generación de energía, el propio uso de los combustibles derivados de la cáscara de arroz ayudará a eliminar los problemas del esparcimiento de los residuos y a reducir las condiciones ambientalmente peligrosas (Ganem., 1991).

1.3.2.5. Producción de arroz en el Perú.

La producción total de arroz en cáscara en el año 2008 fue de 2 793 980 toneladas métricas; de las cuales los tres departamentos con mayor producción fueron Piura, San Martín y Lambayeque (Sistema estadístico Nacional., 2009).

1.3.2.6. Producción de arroz en San Martín.

En San Martín, la producción total del arroz en cáscara en el año 2008 fue de 506 694 toneladas métricas. (Sistema estadístico Nacional., 2009).

1.3.2.7. La cascarilla de arroz como combustible.

Normalmente, la cascarilla de arroz es considerada un desecho e implica diversos problemas con su manejo, se incinera para reducir su volumen generando humos contaminantes.

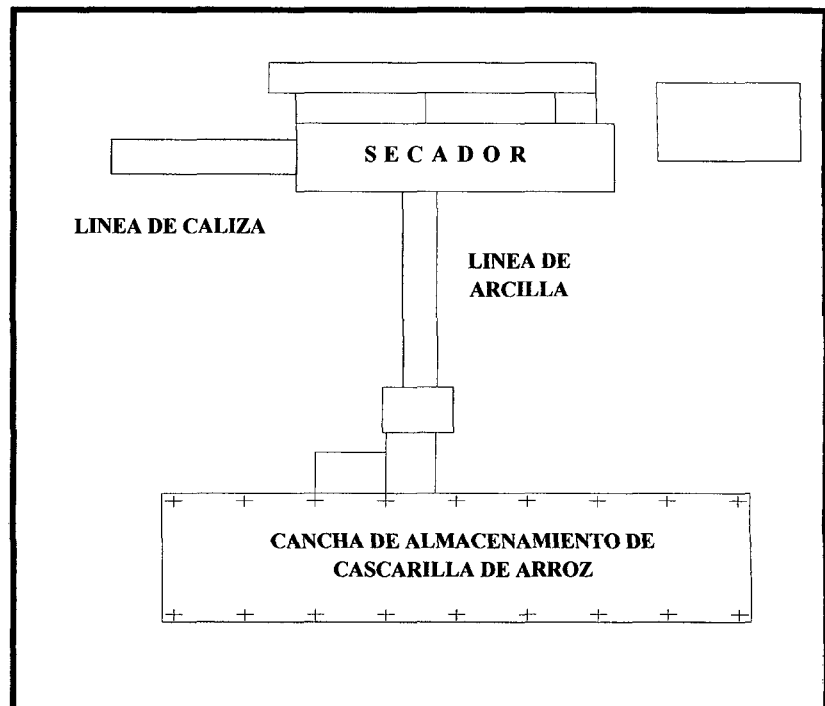
Como combustible genera calor, debido a su valor calorífico (aproximadamente 16720 kJ/kg), y la ceniza resultante contiene un porcentaje en sílice superior al 90%, lo cual la hace una potencial fuente de sílice. Las principales impurezas que contiene esta sílice son: calcio, potasio, magnesio y manganeso y como secundarias aluminio, hierro (10-20ppm), boro y fósforo. (1-40 ppm) (Rodríguez., 1992).

En el mes de setiembre del 2007 la planta de Cementos Selva S.A., hizo modificaciones para adaptar la cámara de combustión que inicialmente quemaba carbón lignito, para iniciar con la quema de cascarilla de arroz, teniendo en consideración algunos aspectos como el tema ambiental pues esta cascarilla normalmente constituye un problema de residuos para los molinos.

1.3.2.8. Descripción del proceso de secado de materiales en la planta de Cementos Selva S.A.

En el gráfico N° 01 se observa la distribución del área donde se desarrolló el presente trabajo de tesis.

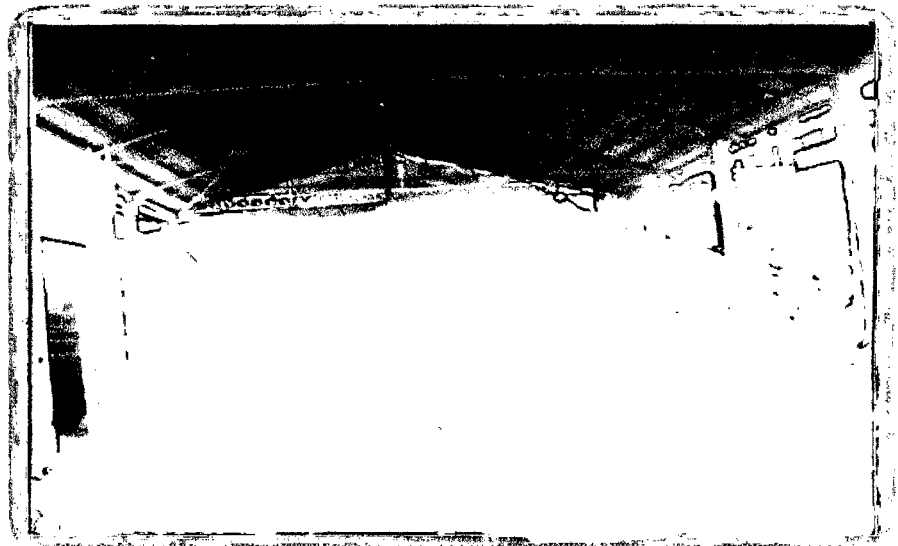
Gráfico N° 01: Distribución de la zona de secado de materiales en la planta de Cementos Selva S.A. 2010.



En el proceso a seguir durante el secado de los materiales (caliza arcilla), mencionaremos que consta de una la línea de caliza y una línea de arcilla, las que por medio de fajas alimentan al secador rotatorio del insumo a secar en tiempos distintos para disminuir el porcentaje de humedad tanto de la caliza como de la arcilla.

Utilizando el cargador frontal, se retira de la cancha de almacenamiento la cascarilla de arroz (Foto N° 01).

Foto N° 01: Cancha de almacenamiento de cascarilla de arroz.



Esta cascarilla es llevada a la tolva, ubicada cerca de la cámara de combustión, esta cascarilla que es utilizada como combustible ingresa a la cámara de combustión mediante una faja que va alimentando de forma constante. (Foto N° 02).

Foto N° 02: Tolva y faja de alimentación de la pajilla de arroz a la cámara de combustión



La cascarilla de arroz al ser quemada genera calor que es absorbido por un sistema de aspiración, posterior a esto los gases generados son conducidos por un ducto hacia el filtro de mangas para retener las partículas más grandes, y posteriormente ser expulsadas al ambiente por la chimenea, lugar donde se efectuaron las mediciones correspondientes.

Es importante mencionar que los residuos que produce la cascarilla de arroz en este caso las cenizas son almacenadas y utilizada como puzolana artificial ya que es agregada durante la molienda de cemento.

1.3.2.9. Especificaciones de la estación de monitoreo y de la fuente de emisión en la planta de Cementos Selva S.A.

Las especificaciones técnicas se detallan a continuación tal y como muestran los cuadros N° 02 y 03 respectivamente.

Tabla N° 02: Descripción de la estación de monitoreo para la evaluación de los gases de combustión.

Estación	Descripción	Coordenadas	Altitud
		UTM (m)	(msnm)
E – 02	Secado de Materiales	E 0248613 N 9337012	816

Fuente: J. Ramón del Perú S.A. 2009.

Tabla N° 03: Especificaciones de las fuentes de emisión para la evaluación de los gases de combustión.

E – 02: Secado de Materiales	
Sección	Circular
Dirección del Flujo	Ascendente
Dist. de Orificio de Medición hacia abajo (B)	4,20 m
Dist. de Orificio de Medición hacia arriba (A)	28,80 m
Diámetro de la chimenea	1,00 m

Fuente: J. Ramón del Perú S.A. 2009.

1.3.2.10. Clima en el departamento San Martín.

En el departamento de San Martín el clima predominante es el subtropical y tropical, distinguiéndose dos estaciones: una seca de junio a setiembre y la otra lluviosa, de octubre a mayo. La temperatura media varía entre 23°C y 27°C y la precipitación pluvial media anual es de 1,500 mm. Según informe emitido por el Gobierno Regional titulado caracterización del departamento San Martín.

1.3.3. Definición de términos.

Chimenea. Conducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de los productos de combustión generados en la fuente fija.

Celda electroquímica. Parte del sistema de medición de emisiones, mediante analizador portátil de gases, que mide el gas de interés y genera una salida proporcional a la concentración de dicho gas.

Combustión. Oxidación rápida, que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, luz y calor.

Combustible: Toda sustancia capaz de arder.

Comburente: Sustancia que aporta el oxígeno para que el combustible sufra oxidación

Combustibles fósiles. Son aquellos hidrocarburos encontrados en estado natural, ejemplos, petróleo, carbón, gas natural, y sus derivados.

Combustibles fósiles sólidos. Se refiere a las variedades de carbón mineral cuyo contenido fijo de carbono varía desde 10% a 90% en peso, y al coque de petróleo.

Contaminante del aire. Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente.

Contaminación del aire. La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

Emisión. La descarga de sustancias en la atmósfera. Para propósitos de esta norma, la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.

Eutrofización. Es un proceso lento natural dado por el aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos, generalmente por el uso de fertilizantes, detergentes y el vertido directo de materia orgánica.

Fuente fija de combustión. Es aquella instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, y que emite o puede emitir contaminantes al aire, debido a proceso de combustión, desde un lugar fijo o inamovible.

Frecuencia de muestreo. Periodicidad con que se realiza la captación de muestras durante el lapso de muestreo.

Límite Máximo Permisible (LMP). Corresponde a la concentración de una emisión, cuyo valor no debe superarse, expresado en ppm o mg/m^3 .

Lapso de muestreo. Lapso en el cual se llevan a cabo las evaluaciones de calidad de aire o caracterización de emisiones, para determinar las concentraciones de los contaminantes.

Material particulado. Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales.

Monitoreo. Es el proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente registro, de varias características del ambiente, a menudo con el fin de evaluar conformidad con objetivos específicos.

Medir. Es la determinación de la proporción entre la dimensión o suceso y una determinada unidad de medida.

Norma de calidad de aire. Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente.

Norma de emisión. Es el valor que señala la descarga máxima permitida de los contaminantes del aire definidos.

Puerto de muestreo. Son los orificios circulares que se hacen en las chimeneas o conductos para facilitar la introducción de los elementos necesarios para mediciones y toma de muestras.

Puntos de medición. Son puntos específicos, localizados en las líneas de muestreo, en los cuales se realizan las mediciones y se extrae la muestra respectiva.

Poder Calorífico. Es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química.

Subproducto. Es un producto secundario, generalmente útil y comercializable, de un proceso y que además tiene un menor valor, y que generalmente también es considerado como desecho.

Temperatura de ignición. Es la temperatura a la cual, una vez iniciada la llama, ésta ya no se extingue.

US EPA. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

1.4. VARIABLES:

Variable independiente: Cascarilla de arroz.

Variable dependiente: Gases CO, NO_x y SO₂.

Variables intervinientes: Temperatura de la cámara de combustión, humedad de la cascarilla de arroz.

1.5. HIPÓTESIS.

La hipótesis planteada es la siguiente:

H₀: Las emisiones de CO, NO_x y SO₂ como consecuencia de la combustión del proceso de secado utilizando cascarilla de arroz se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

H₁: Las emisiones de CO, NO_x y SO₂ como consecuencia de la combustión del proceso de secado utilizando cascarilla de arroz sobrepasan los Límites Máximos Permisibles (LMP).

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO.

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

2.1.1. De acuerdo a la orientación: Aplicada.

2.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación: Descriptiva.

2.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El método a utilizar para determinar la calidad de los resultados es llevar a cabo una prueba t student sobre los datos. La prueba de t student, es un análisis estadístico de pequeños conjuntos de datos para el nivel de confiabilidad con el que el conjunto de datos representa el promedio verdadero.

2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.

2.3.1. Población: Volúmen de cascarilla de arroz utilizado en el proceso de secado.

2.3.2. Muestra: Los gases de combustión CO, NOx y SO₂.

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

El monitoreo se realizó durante cuatro meses (diciembre, enero, febrero, marzo); Con una frecuencia de una vez por semana al azar. Donde el Monitoreo Continuo de Emisiones (MCE) se realizó durante un periodo de 60 minutos, con intervalos de tiempo de 15 minutos entre lecturas. Los gases medidos fueron el Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO₂).

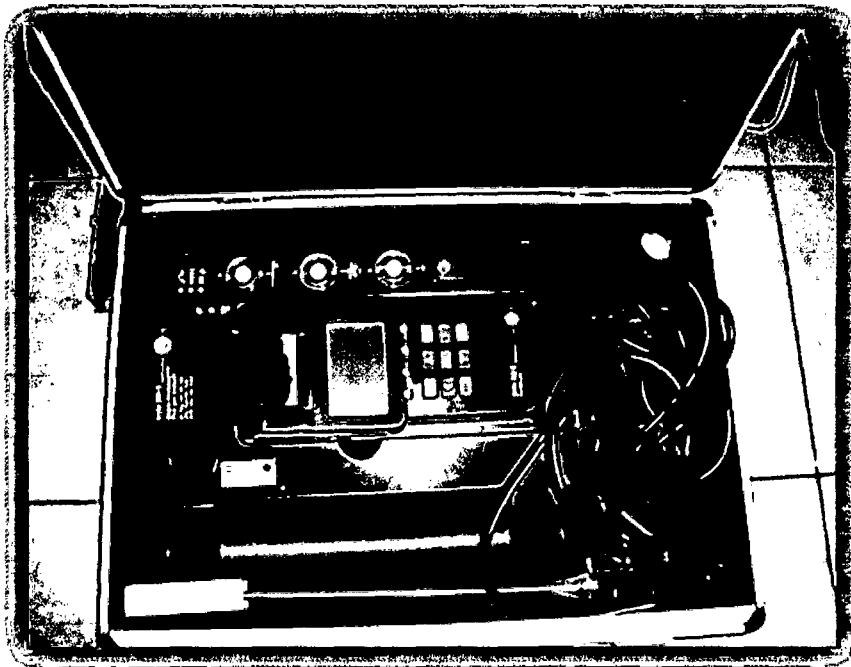
La determinación de las concentraciones de gases de combustión se realizó utilizando equipo TESTO, Modelo 350S, basado en el principio de funcionamiento de celdas electroquímicas, este instrumento de respuesta instantánea utilizada durante los cuatro meses de monitoreo trabaja con los siguientes rangos de detección:

Tabla N° 04: Rangos de detección TESTO 350S.

PARÁMETRO	RANGO
Oxígeno	0+ 25%
Monóxido de Carbono	0....+10000 ppm CO
Óxido de Nitrógeno	0....+3000 ppm NO
Dióxido de azufre	1.11111E+15
Temperatura de la chimenea	-40....+1200 °C

Fuente: Manual de analizador de gases testo 350 S.

Foto N° 03: Equipo analizador de gases múltiples Testo 350 S.



2.4.1. Materiales.

- Libreta de campo.
- Lapiceros.
- Impermeable.
- Trapo industrial
- Plano de distribución de los ambientes de la planta.
- Cuchara.
- Bolsa de polietileno.
- Crisol de porcelana.
- Franela.
- Brocha de pelo fino.
- Tenaza.
- Pisceta.
- Crisol de vidrio.

2.4.2. Equipos de Protección Personal (EPPs).

- Zapatos punta de acero.
- Casco.
- Tapones de oído.
- Lentes.
- Respirador.
- Guantes.

2.4.3. Equipos.

- Analizador de gases modelo Testo 350 S.
- Computadora Pentium IV.
- Calculadora casio Fx4500P.
- Cámara fotográfica digital.
- Balón de oxígeno con medidor de presión.
- Balanza analítica.
- Desecador.
- Calorimétrico (Lecco).
- Estufa de 100 °C a 110 °C (Marca Humboldt MFG.CO.).
- Molino vibratorio (Herzog).

2.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

Los procedimientos utilizados para la determinación del porcentaje de humedad y del poder calorífico de la cascarilla de arroz, son establecidos por el laboratorio de control de calidad de la planta de Cementos Selva S.A.

2.5.1. Determinación del porcentaje de humedad. Se utilizó el método gravimétrico.

Procedimiento:

Inicialmente se realiza un muestreo de la cascarilla de arroz que ingresa a planta, para formar un compósito que por lo general es semanal de aproximadamente 5 Kg. La misma que es homogenizada.

2.5.1.1. Humedad gruesa (%H₂O G).

Pesa un recipiente más los 100 gr. de cascarilla de arroz (W₁).

Secar por 2 horas en una estufa a temperatura de 100 a 110 °C.

Luego retirar la muestra de la estufa, dejar enfriar y pesar (W₂).

$$\%H_2O (G) = \frac{(W_1 - W_2)}{W \text{ muestra}} \times 100$$

2.5.1.2. Humedad fina (%H₂O F).

Poner la cascarilla de arroz (muestra seca) en un molino de disco y moler por 150 seg. En molino vibratorio.

Retirar del molino de disco la cascarilla molida en base seca para obtener la muestra preparada y poner en una bolsa de polietileno color blanco.

Pesar un peso filtro de vidrio más 1.0 gr. de la muestra preparada (W₁).

Poner a secar por 2 horas en la estufa a 106 °C.

Enfriar en el desecador por media hora.

Luego pesar (W₂).

$$\%H_2O (F) = \frac{(W_1 - W_2)}{W \text{ muestra}} \times 100$$

2.5.1.3. Humedad total (%H₂O T).

Para calcular la humedad total se suman los valores obtenidos de la humedad gruesa y humedad fina.

$$\%H_2O (T) = \% H_2O (G) + \% H_2O (F)$$

2.5.2. Determinación del poder calorífico de la cascarilla de arroz.

Procedimiento:

Lavar la bomba calorimétrica y secarla primero con una franela limpia y luego con aire comprimido.

Pesar 1gr. de muestra preparada (cascarilla de arroz molida en base seca) en un crisol.

Cortar aproximadamente 120 mm de fusible.

Colocar el crisol en la bomba calorimétrica y colocar el fusible teniendo en cuenta que este haga contacto con el carbón.

Ajustar bien la tapa de la bomba.

Colocar oxígeno hasta 2.5 MPa. De presión.

Se coloca el recipiente dentro del equipo y agregar 2 litros de agua.

Colocar la bomba calorimétrica y conectar los electrodos.

Cerrar la tapa del equipo Lecco.

Activar el equipo.

Abrir la tapa del equipo y retirar los cables del electrodo.

Retirar la bomba calorimétrica y purgar el oxígeno que lleva dentro.

Se retira el recipiente que se encuentra con agua y vierte el agua.

Sacar la tapa de la bomba que tiene forma de rosca.

Mover el eje central para sacarlo.

Desmontar y lavar las paredes de la bomba y paredes exteriores del crisol con agua destilada utilizando la pisceta.

Los resultados son obtenidos en Kcal/Kg.

CAPITULO III

3.1. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto de tesis fueron los que se muestran a continuación producto del trabajo realizado en campo y en gabinete, en tal sentido para algunos casos se presentan tablas y gráficos relacionados al porcentaje de humedad, el poder calorífico de la cascarilla de arroz, registros de temperaturas de la cámara de combustión y por último las concentraciones de los gases de combustión CO , NO_x , SO_2 .

En cuanto a las mediciones del porcentaje de humedad con la que ingresa la cascarilla de arroz a la cámara de combustión, se siguió el procedimiento establecidos en los laboratorios de control de calidad, tal y como se indicó anteriormente (ítem 2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos); parte de este procedimiento se muestran en las fotos N° 04 y 05 respectivamente, para la determinación de la humedad gruesa y la humedad fina, en el orden indicado.

Foto N° 04: Secado de la cascarilla de arroz en la mufla.



Foto N° 05: Obtención de la cascarilla molida en base seca.



En tal sentido se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 05: Porcentaje de humedad total de ingreso de la cascarilla de arroz a la cámara de combustión de la Planta de Cementos Selva S.A.

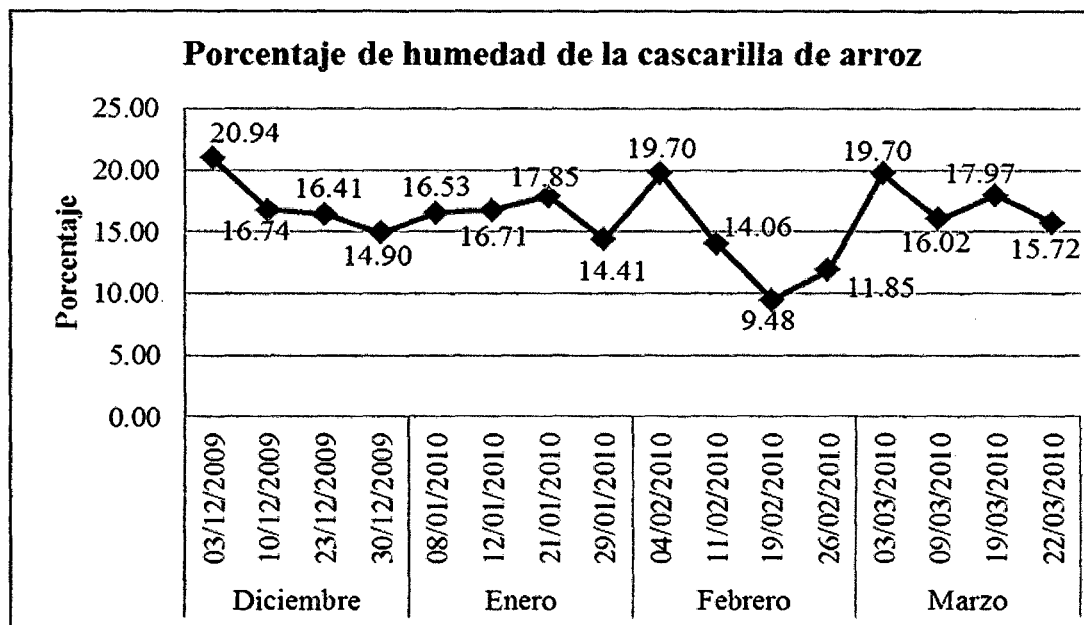
Meses	Fecha	Humedad total (%)	Humedad promedio
Diciembre	03/12/2009	20.94	
	10/12/2009	16.74	
	23/12/2009	16.41	17.25 %
	30/12/2009	14.90	
Enero	08/01/2010	16.53	
	12/01/2010	16.71	
	21/01/2010	17.85	16.38 %
	29/01/2010	14.41	
Febrero	04/02/2010	19.70	
	11/02/2010	14.06	
	19/02/2010	9.48	13.77 %
	26/02/2010	11.85	
Marzo	03/03/2010	19.70	
	09/03/2010	16.02	
	19/03/2010	17.97	17.35 %
	22/03/2010	15.72	

Fuente: Control de calidad Cementos Selva S.A., 2009- 2010.

En la tabla N° 05, se observan las mediciones de porcentaje de humedad que contiene la cascarilla de arroz al momento que ingresa a la cámara de combustión. Teniendo como resultados que en el mes de marzo el porcentaje promedio de humedad fue el más alto 17,35% y que durante las cuatro mediciones de dicho mes fluctuaron entre el 15,72% y 19,70%. Durante las mediciones del mes de diciembre los porcentajes de humedad estuvieron comprendidos entre 16,41% y 20,94% teniendo como promedio 17,25% de humedad. En el mes de enero los porcentajes de humedad se mantuvieron constantes entre 14,41% y 17,85% con un promedio de 16,38% y durante el mes de febrero que se obtuvieron los porcentajes de humedad

más bajos en relación a los otros meses, fluctuaron entre 9,48% y 19,70% obteniendo un promedio de 13,77% de humedad.

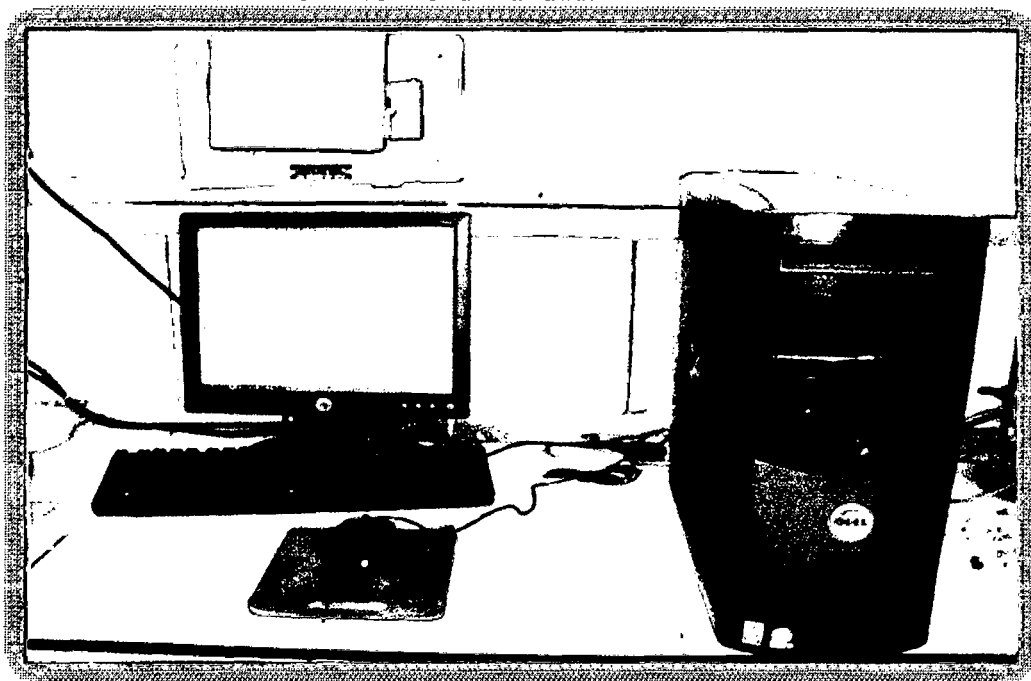
Gráfico N° 02: Porcentaje de humedad total con la que ingresa la cascarilla de arroz a la cámara de combustión de la planta de Cementos Selva S.A.



En el gráfico N° 02 se observa el comportamiento de las mediciones tomadas durante los meses de diciembre del 2009 a marzo del 2010. Las mediciones tomadas entre el 10 de diciembre de 2009 al 21 de enero de 2010 se mantienen constantes con porcentajes de humedad mínimos de variación, debido a que la humedad relativa promedio fue de 81% y durante el 29 de enero al 09 de marzo las variaciones de humedad porcentual son altas, debido a las lluvias frecuentes, dando como resultado una humedad relativa promedio de 85%, más elevada que el promedio anterior.

En cuanto al poder calorífico, las mediciones se realizaron siguiendo un procedimiento establecido por el laboratorio de control de calidad el mismo que se especifica anteriormente (ítem 2.5.2. Determinación del poder calorífico de la cascarilla de arroz); para la obtención de resultados se utilizó el equipo Calorimétrico (Lecco), el mismo que mediante una computadora Pentium IV conectado a este, y mediante un software va registrando el poder calorífico de la cascarilla de arroz, tal y como se muestra en la siguiente foto.

Foto N° 06: Registro directo del poder calorífico al computador, dentro del laboratorio de control de calidad.



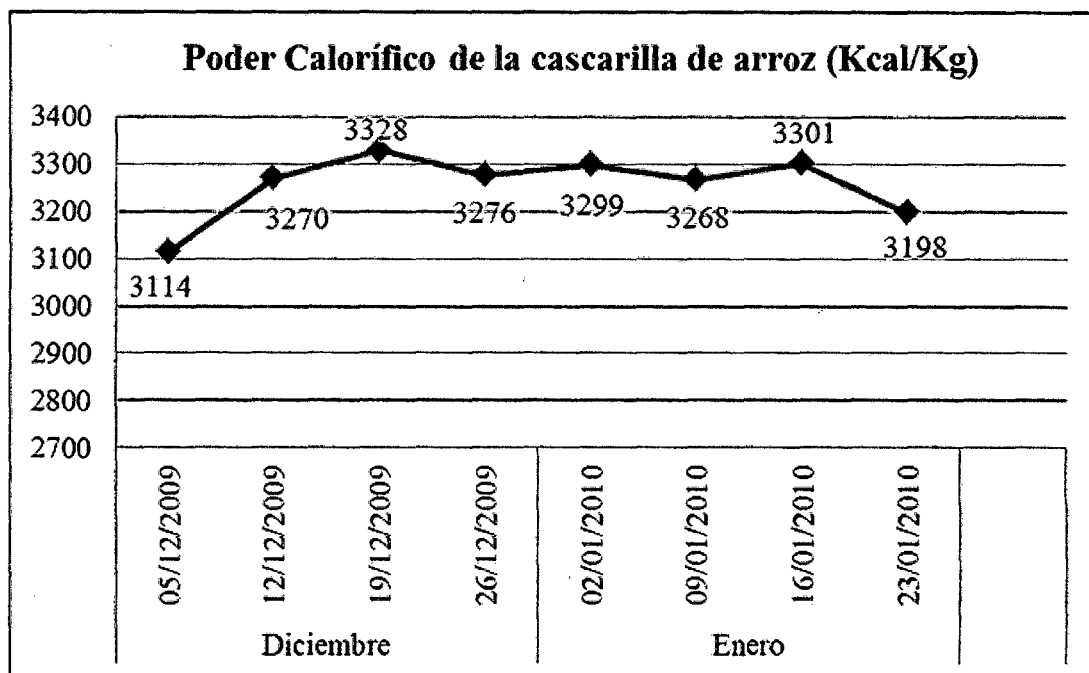
Las mediciones del poder calorífico se efectuaron durante los meses de diciembre y enero. Estos resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla N° 06: Poder calorífico de la cascarilla de arroz.

Meses	Fecha	Poder Calorífico (Kcal/Kg)	Poder calorífico promedio (Kcal/Kg)
Diciembre	05/12/2009	3114	3247
	12/12/2009	3270	
	19/12/2009	3328	
	26/12/2009	3276	
	02/01/2010	3299	
Enero	09/01/2010	3268	3267
	16/01/2010	3301	
	23/01/2010	3198	

Fuente: Control de calidad Cementos Selva S.A, 2009.

Gráfico N° 03: Poder calorífico (Kcal/Kg) de la cascarilla de arroz, utilizada como combustible en el proceso de secado de la caliza y arcilla en la planta de Cementos Selva S.A.



En la tabla N° 06 y gráfico N° 03, se observa el poder calorífico que genera la cascarilla de arroz en Kcal/kg como combustible y que su utilización ayuda a eliminar los problemas del esparcimiento de los residuos y a reducir las condiciones ambientalmente peligrosas, en el presente estudio las mediciones obtenidas son las siguientes:

Durante el mes de diciembre el mayor poder calorífico alcanzado por la utilización de cascarilla de arroz se presenta el 19 de diciembre con 3276 kcal/kg y un mínimo el 5 de diciembre con 3114 kcal/kg, obteniendo un promedio de 3247 kcal/kg.

En el mes de enero se realizaron cuatro mediciones de las cuales el mayor poder calorífico se presenta el 16 de enero con 3301 kcal/kg y el mínimo el 23 de enero con 3198 kcal/kg, obteniéndose un promedio de 3267 kcal/kg.

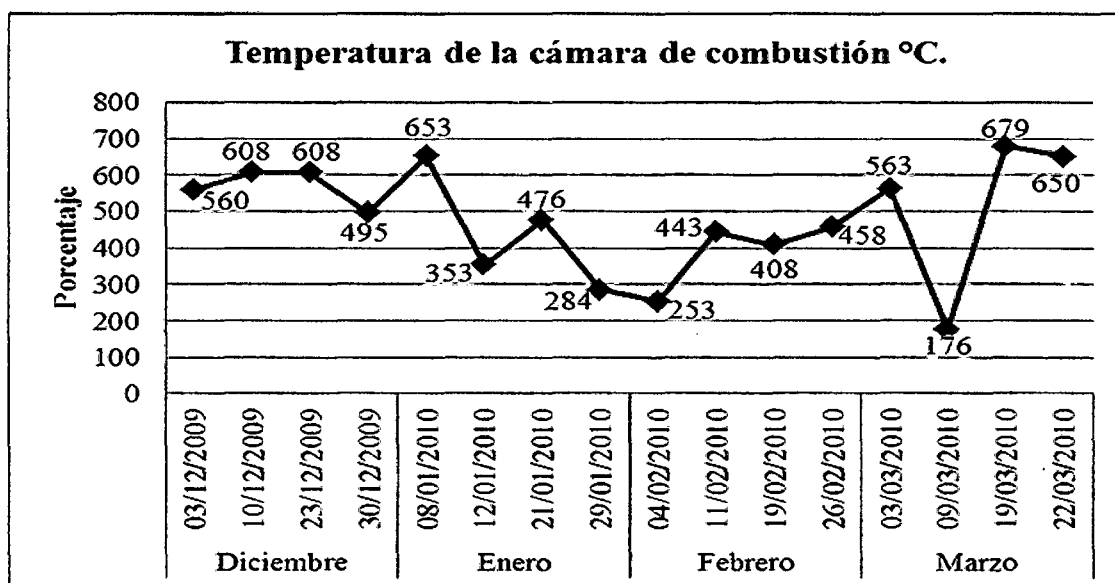
Concluyendo que el poder calorífico promedio que alcanza la cascarilla de arroz como combustible en la planta de Cementos Selva S.A. durante el periodo diciembre 2009 y enero 2010 es de 3257 kcal/kg y que desde el 12 de diciembre al 16 de enero las variaciones fueron mínimas manteniéndose constante.

Tabla N° 07: Registro de temperaturas de la cámara de combustión durante las mediciones de las concentraciones de los gases CO, NO_x y SO₂ en la chimenea del secador en Cementos Selva S.A.

Meses	Fecha	Temperatura (°C)	Promedio de temperatura por mes
Diciembre	03/12/2009	560	576.75°C
	10/12/2009	608	
	23/12/2009	608	
	30/12/2009	495	
Enero	08/01/2010	653	441.50°C
	12/01/2010	353	
	21/01/2010	476	
	29/01/2010	284	
Febrero	04/02/2010	253	390.50°C
	11/02/2010	443	
	19/02/2010	408	
	26/02/2010	458	
Marzo	03/03/2010	563	517°C
	09/03/2010	176	
	19/03/2010	679	
	22/03/2010	650	
Temperatura promedio		479	

Fuente: Cementos Selva S.A. (Tablero de control), 2010.

Gráfico N° 04: Temperatura de la cámara de combustión durante las mediciones de las concentraciones de los gases CO, NO_x y SO₂ en la chimenea del secador en Cementos Selva S.A.



En la tabla N° 07 y gráfico N° 04, se observan las mediciones de temperatura alcanzada en la cámara de combustión de la planta de Cementos Selva S.A. Esta información se obtuvo de un tablero de control del área de secado.

En el mes de diciembre la cámara de combustión obtuvo un promedio de 576.75°C fluctuando con variaciones mínimas de 495°C y 608°C.

En el mes de enero el promedio de temperatura alcanzada fue de 441.50°C y sus variaciones estuvieron desde 253°C y 476°C.

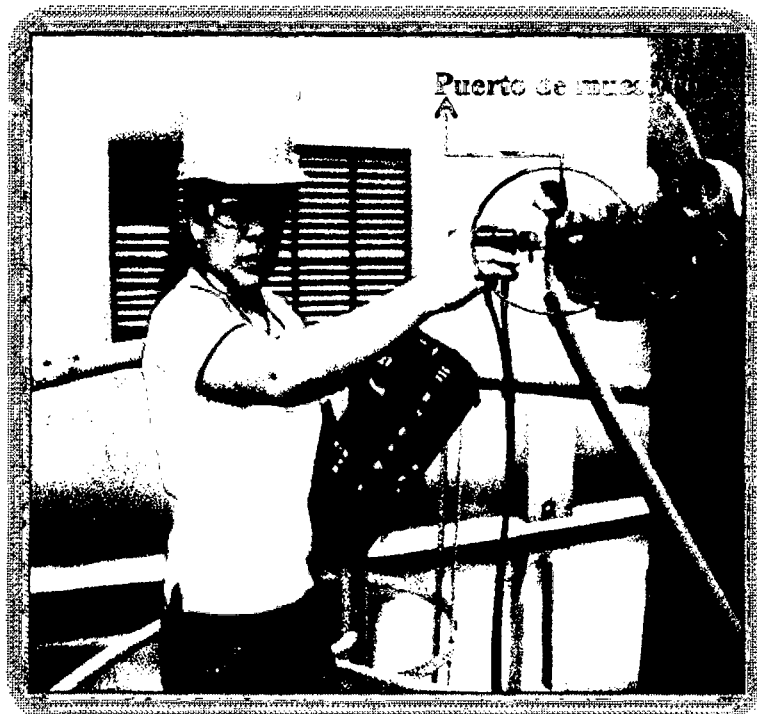
Durante el mes de febrero el promedio de temperatura fue la más baja de 390.50°C y sus variaciones estuvieron de 253°C y 458°C.

Durante el mes de diciembre la cámara de combustión alcanzó el promedio máximo de temperatura de 576°C y sus variaciones en las cuatro mediciones se comprendieron de 679°C como máximo y 176°C como mínimo.

Concluyendo que la temperatura promedio obtenida por la cámara de combustión de la planta de Cementos Selva S.A., fue de 479°C durante el proceso de monitoreo.

Para la determinación de las concentraciones de los gases se utilizó el equipo analizador de gases múltiples Testo 350S, basado en el funcionamiento de celdas electroquímicas, las mediciones se realizaron en el puerto de muestreo, ubicado en la chimenea del secador de materiales (caliza, arcilla), tal y como se indica en la foto N° 07; dicho puerto de muestreo también es utilizado para las mediciones semestrales que Cementos Selva S.A., viene realizando como parte del compromiso en la temática ambiental.

Foto N° 07: Monitoreo continuo de emisiones en la chimenea del secador.



Las mediciones registradas fueron impresas directamente del equipo donde se obtuvieron reportes, los que se encuentran anexados en el presente informe.

Foto N° 08: Impresión de reporte de mediciones en la chimenea del secador.



Los reportes obtenidos con respecto a las concentraciones de los gases de combustión, específicamente para el CO, NO_x y SO₂, se presentan en la tabla N° 08.

Los reportes entre mediciones se realizaron con una frecuencia aproximadamente de 15 minutos entre lecturas, además se muestran algunos parámetros complementarios como el Dióxido de Carbono - CO₂ y el oxígeno que si bien es cierto no forman parte de los objetivos planteados, en el presente trabajo de tesis, pero resulta interesante mencionarlo teniendo en cuenta que el CO₂ constituye un gas de efecto invernadero y el oxígeno es importante en los proceso de combustión.

Tabla N° 08: Concentración de gases de combustión en la chimenea del secador de la planta de Cementos Selva S.A., diciembre 2009 – marzo 2010.

Fecha	Hora de muestreo	CO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	CO ₂	Oxígeno %
03/12/2009	09:57	51	55	0	2,39	18,56
	10:13	91	61	0	2,45	18,57
	10:31	44	55	101	2,8	18,08
	10:45	45	38	1	2,68	18,3
	11:00	42	45	0	2,73	18,29
10/12/2009	10:00	45	72	0	3,43	17,49
	10:18	34	50	0	4,04	16,97
	10:28	75	48	0	4,03	16,94
	10:48	17	34	0	3,07	17,95
	11:02	7	34	0	2,66	18,26
23/12/2009	09:35	21	44	1	1,66	19,37
	09:50	22	44	0	1,69	19,18
	10:07	17	48	0	1,7	19,15
	10:21	36	35	1	1,59	19,36
	10:36	38	35	0	1,52	19,46
30/12/2009	10:01	463	7	0	0,56	20,25
	10:16	473	12	0	0,71	20,12
	10:31	343	6	0	0,31	20,39
	10:45	708	11	0	0,63	20,13
	11:00	948	13	0	1,52	19,19
08/01/2010	10:24	48	93	0	3,4	14,7
	10:41	42	92	0	2,92	17,77
	10:55	48	89	0	3,15	17,74
	11:10	73	99	0	3,63	17,01
	11:25	43	99	0	3,64	17,07

12/01/2010	11:40	1017	25	0	1,29	19,65
	11:56	899	25	0	1,15	19,58
	12:09	763	18	0	1,13	19,73
	12:26	785	21	0	1,34	19,54
	12:40	643	18	0	1,28	19,56
21/01/2010	10:50	71	50	0	2,2	18,74
	11:08	41	60	0	2,3	18,52
	11:20	32	63	0	2,58	18,19
	11:35	60	54	0	2,2	18,73
	11:50	30	63	0	2,32	18,41
29/01/2010	10:45	219	1	0	0,14	20,74
	11:00	465	33	0	2,03	18,82
	11:14	163	50	0	2,36	18,42
	11:30	35	78	0	3,09	17,65
	11:45	30	80	0	3,06	17,62
04/02/2010	11:10	747	4	0	1,25	19,73
	11:25	686	4	0	1,16	19,66
	11:40	714	20	0	1,33	19,59
	11:55	705	18	0	1,28	19,53
	12:10	690	5	0	1,42	19,35
11/02/2010	03:40	654	25	0	1,84	19
	03:55	657	30	0	2	18,85
	04:10	481	34	0	1,96	18,86
	04:25	652	28	0	1,88	18,94
	04:41	440	40	0	2,17	18,7
19/02/2010	09:40	177	14	0	2,14	18,91
	09:55	583	9	0	1,32	19,56
	10:10	100	61	0	2,33	18,61
	10:25	171	47	0	2,16	18,73
	10:41	288	42	0	2,1	18,79
26/02/2010	04:45	29	106	0	4,39	16,52
	05:00	43	111	0	4,18	16,61
	05:14	35	109	0	4,15	16,69
	05:30	17	94	0	3,85	17,1
	05:45	23	73	0	3,67	17,25
03/03/2010	11:20	24	64	0	4,37	16,47
	11:36	11	64	1	2,53	18,33
	11:50	10	63	0	4,27	16,56
	12:05	16	86	0	4,12	16,7
	12:20	21	86	0	3,75	17,06
09/03/2010	10:00	914	9	0	1,69	19,25
	10:15	739	7	0	1,76	19,13
	10:30	825	7	0	1,61	19,23

19/03/2010	10:45	625	4	0	1,7	18,96
	11:00	621	3	0	1,65	19
	11:45	31	57	0	3,94	17,03
	12:00	21	44	0	3,92	16,88
	12:15	48	87	0	3,55	17,32
	13:30	10	35	0	3,74	17,16
	12:45	129	70	0	0,11	20,49
22/03/2010	10:50	403	37	0	2,38	18,47
	11:05	186	48	0	2,51	18,27
	11:20	185	46	0	2,44	18,2
	11:35	34	42	0	2,97	17,48
	11:50	180	50	0	2,32	18,03

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Tabla N° 09: Estadísticas básicas de la concentración de gases de combustión CO, NO_x y SO₂, en la chimenea del secador de la planta de Cementos Selva S.A., diciembre 2009 – marzo 2010.

Estadísticas básicas	CO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	CO ₂	Oxígeno (%)
Promedio	274,40	45,51	1,31	2,37	18,44
Mediana	74	44	0	2,31	18,59
Desviación estándar	309,74	29,44	11,29	1,09	1,16
Coefficiente de variación	112,88%	64,69%	861,83%	45,99%	6,29%

Fuente: Elaboración propia, 2010.

La tabla N° 09, muestra las estadísticas básicas descriptivas de tendencia central y de variabilidad de la concentración de gases de combustión en la chimenea de la planta de Cementos Selva S.A., en un periodo de diciembre 2009 – marzo 2010, obteniendo los siguientes resultados.

El promedio de gases de combustión de monóxido de carbono fue el 274,40 ppm, el gas de concentración promedio de óxidos de nitrógeno fue 45,51 ppm, el promedio del gas de dióxido de azufre fue 1,31 ppm, el promedio de dióxido de carbono fue 2,37 y de oxígeno el 18.44%, notándose que el máximo promedio de concentración de gases es de monóxido de carbono.

La mediana corta a la población exactamente en el 50%, y es la mejor medida de tendencia central que explica el comportamiento de los gases de combustión en la chimenea del secador de la planta de Cementos Selva S.A, en la cual tenemos: el promedio mediano de la concentración de los gases de combustión, para el monóxido de carbono fue el 74 ppm, el óxidos de nitrógeno fue 44 ppm, y para el dióxido de azufre fue cero, en cuanto al dióxido de carbono se obtuvo un 2,31% y de oxígeno el 18,59%, notándose que el máximo promedio mediano de concentración de gases es de monóxido de carbono.

La desviación estándar es una medida de centralización o dispersión, que se define como la raíz cuadrada de la varianza y da a conocer con detalle las distancias que tienen los valores obtenidos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable representa. En el estudio tenemos que: la variación promedio de los valores obtenidos de los gases de combustión respecto a su promedio fue 309,74 ppm, significando que existen valores muy dispersos alrededor del promedio, la variación de las concentraciones para el óxidos de nitrógeno fue 29,44 ppm, del gas de dióxido de azufre fue 11,29 ppm, de dióxido de carbono de 1,09% y del oxígeno el 1,16%.

El coeficiente de variación, es una medida de dispersión útil para comparar dispersiones a escalas distintas pues es una medida invariante ante cambios de escala. Sirve para comparar variables que están a distintas escalas pero que están correlacionadas estadísticamente y sustantivamente con un factor en común. En el estudio se obtenido, que el coeficiente de variación de los valores obtenidos de los gases de combustión fue 112,88%, significando que dichos valores provienen de una población heterogénea, de las concentraciones de los gases de combustión para el óxidos de nitrógeno fue 64,69%, del dióxido de azufre fue 861,83%, de dióxido de carbono fue de 45,99% y de oxígeno el 6,29%, proviniendo de una población homogénea.

Tabla N° 10: Concentración de los gases de combustión CO, NO_x y SO₂, en el proceso de secado utilizando cascarilla de arroz en relación a los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Material	Fecha	T° de la cámara de combustión	Humedad de la cascarilla de arroz	CO (ppm) (*)	NO _x (ppm) (*)	SO ₂ (ppm) (*)
Caliza	03/12/2009	560	20.94	54.60	50.80	20.40
	23/12/2009	608	16.41	26.80	41.20	0.4
	30/12/2009	495	14.9	587.0	9.80	0
	12/01/2010	353	16.71	821.40	21.40	0
	21/01/2010	476	17.85	46.80	58.00	0
	04/02/2010	253	19.7	708.40	10.20	0
	11/02/2010	443	14.06	576.80	31.40	0
	19/02/2010	408	9.48	263.80	34.60	0
	09/03/2010	176	16.02	744.80	6.00	0
	19/03/2010	679	17.97	47.80	58.60	0
	10/12/2009	608	16.74	35.60	47.60	0
Arcilla	08/01/2010	653	16.53	50.80	94.40	0
	29/01/2010	284	14.41	182.40	48.40	0
	26/02/2010	458	11.85	29.40	98.60	0
	03/03/2010	563	19.7	16.40	72.60	0.2
	22/03/2010	650	15.72	197.60	44.60	0
Intervalo de confianza al 97.5%				[205,47-343,33]	[38,96-52,06]	[-1,19-3,82]
Nivel máximo permisible				1004,2	489,0	152,67

Fuente: Elaboración propia, 2010.

(*) Volúmen Referencial corregido a 25°C y 1 atmósfera. Sustentado en el Protocolo de Monitoreo de calidad de Aire y emisiones.

Decreto Supremo N° 638 del 26 de abril de 1995.

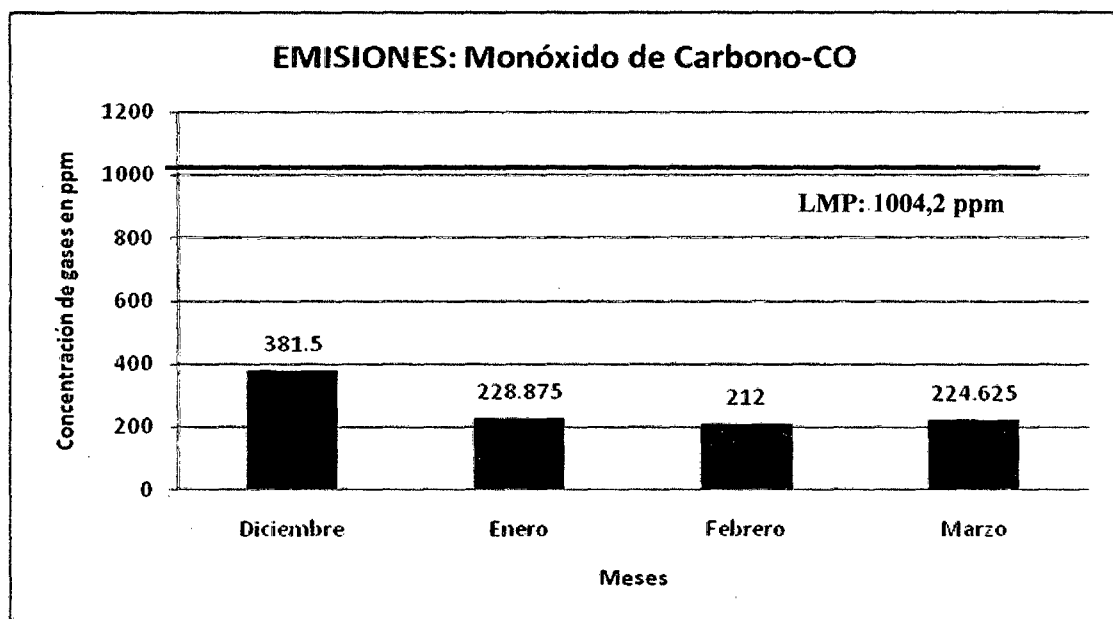
Corporación Financiera Internacional – IFC / Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fabricación de cemento, cal – 30 de abril de 2007.

En la tabla N° 10 se explica la concentración de los gases de Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Dióxido de Azufre (SO₂) en relación con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Analizando en el intervalo de confianza de la distribución t de Student, la emisión gaseosa de monóxido de carbono varían entre 205,47 ppm y 343,33 ppm con una confianza del 97,5%.

En el gráfico N° 05 se observa que la concentración promedio del monóxido de carbono, fue más elevada durante el mes de diciembre del 2009 con 381.5 ppm, a diferencia del mes de febrero de 2010, donde se muestra la concentración más baja con 212 ppm, así también durante los meses de enero, febrero y marzo de 2010, se observan fluctuaciones con variaciones mínimas de concentraciones para el monóxido de carbono.

Gráfico N° 05: Relación entre la concentración promedio de Monóxido de Carbono - CO y el Límite Máximo Permisible (LMP).

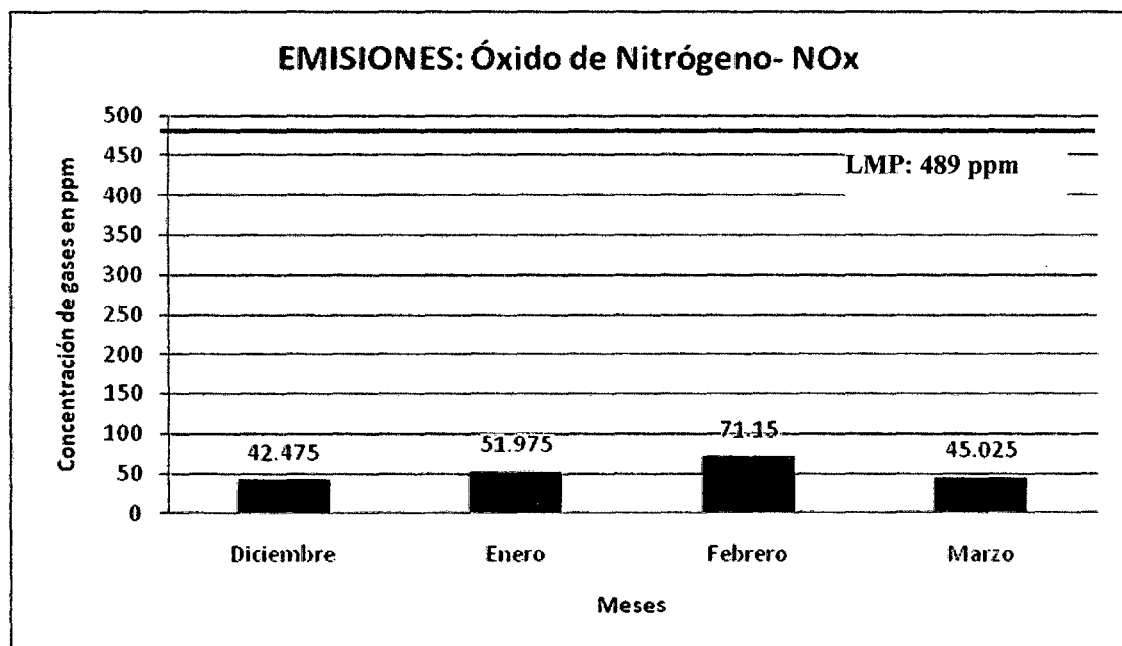


Lo cual implica que el promedio del monóxido de carbono en la chimenea del secador de la planta de Cementos Selva S.A., utilizando la cascarilla de arroz durante el secado de materiales (caliza y arcilla) no supera el límite máximo permisible de 1004,2 ppm.

Con una confianza del 97.5% se tiene que la emisión gaseosa de óxido de nitrógeno varía entre 38,96 ppm y 52,06 ppm.

En el gráfico N° 06 se observa que la concentración promedio del óxido de nitrógeno, fue más elevada durante el mes de febrero de 2010 con 71.15 ppm, a diferencia del mes de diciembre de 2009, donde se muestra la concentración más baja con 42.475 ppm, cabe mencionar que durante los cuatro meses de monitoreo efectuados durante el mes de diciembre de 2009 a marzo de 2010, para el óxido de nitrógeno presentando variaciones mínimas.

Gráfico N° 06: Relación ente la concentración promedio de Óxido de Nitrógeno - NO_x y el Límite Máximo Permisible (LMP).

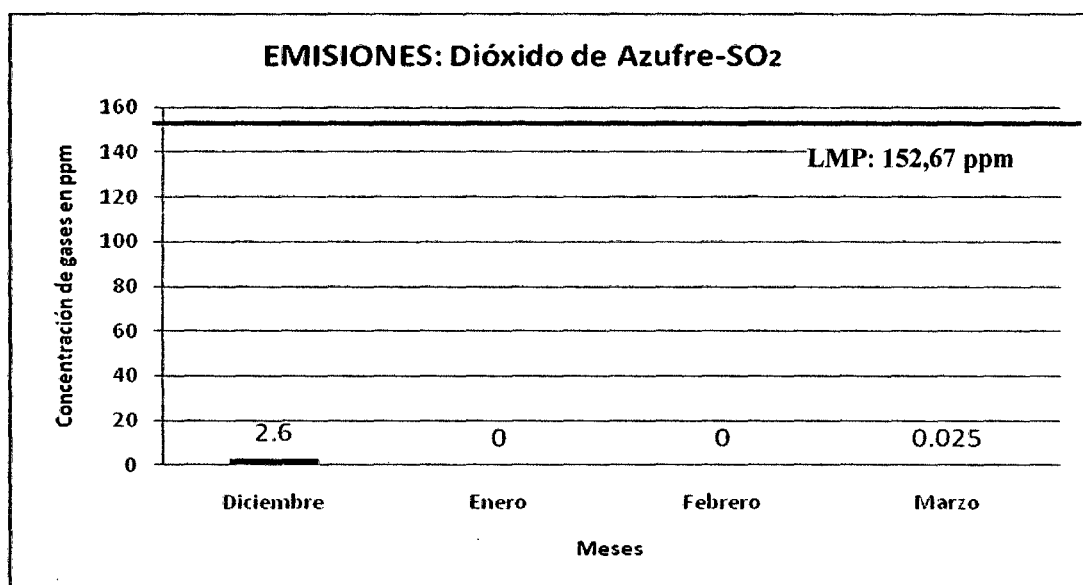


Lo cual implica que el promedio de óxido de nitrógeno emitido en la chimenea del secador de la planta de Cementos Selva S.A., utilizando la cascarilla de arroz no supera el límite máximo permisible de 489 ppm.

Las concentraciones para las emisiones del gas dióxido de azufre varían entre 0 y 3,82 ppm con una confianza del 97.5%.

En el gráfico N° 07 se observa que la concentración promedio del dióxido de azufre solo se fue detectado por equipo de medición únicamente para el mes de diciembre de 2009 y con 2.6 ppm y con 0.025 ppm en el mes de marzo 2010, con valores de 0 para los meses de enero y febrero de 2010 respectivamente.

Gráfico N° 07: Relación ente la concentración promedio de Óxido de Nitrógeno - NO_x y el Límite Máximo Permisible (LMP).

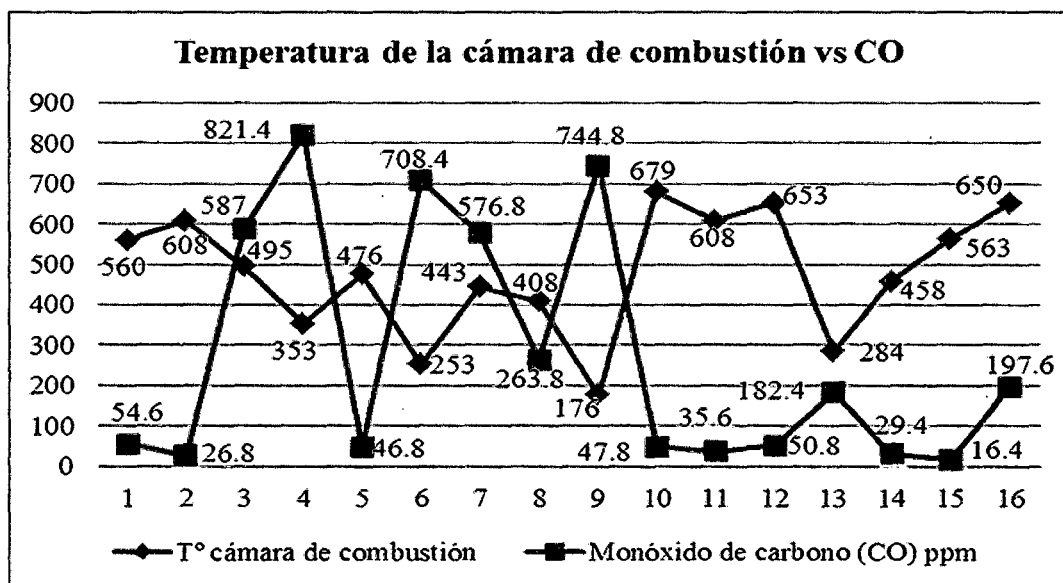


Implicando que el promedio emitido de dióxido de azufre en la chimenea del secador en la planta de Cementos Selva S.A., utilizando la cascarilla de arroz no supera el límite máximo permisible de 152,67 ppm.

En el gráfico N° 08 se muestra la relación existente entre la temperatura de la cámara de combustión y las concentraciones del monóxido de carbono.

Se observa que a temperaturas mínimas de la cámara de combustión, las concentraciones de monóxido de carbono tienden a elevarse, en tal sentido se aprecia que a una temperatura de 353 °C las concentración promedio de monóxido de carbono se elevó a 821.4 ppm, asimismo a temperaturas elevadas de la cámara de combustión las concentraciones de monóxido de carbono tienden a disminuir, tal como se observa que a una temperatura de 679 °C, las concentración promedio de monóxido de carbono fue de 47.8 ppm.

Gráfico N° 08: Relación entre temperatura de la cámara de combustión vs CO.



3.2. DISCUSIONES.

Según Valverde (2006), el contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%, por tanto en función de los resultados obtenidos se puede decir que la biomasa se encuentra dentro del porcentaje de humedad recomendado ya que las variaciones de porcentaje promedio de humedad para los meses de monitoreo están entre 13,77% para el mes de febrero y 17,35%, para el mes de marzo.

Según Cerquera y Galindo (2006), el poder calorífico es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa, y se encuentra relacionada con su contenido de humedad, ya que a un elevado porcentaje de humedad, menor será el poder calorífico y por ende, reduce la eficiencia en la combustión, debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua, esto se encuentra en concordancia con los datos obtenidos, pues a menor contenido de humedad mayor fue el poder calorífico de la cascarilla, en tal sentido se tiene que en el mes de diciembre la humedad de la cascarilla de arroz fue de 17.25% y el poder calorífico fue de 3247 Kcal/Kg, y en el mes de enero el porcentaje de humedad fue de 16.38 % con un poder calorífico de 3267 Kcal/Kg., respectivamente.

Según el estudio titulado, “Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz, realizado por la Universidad Tecnológica de Pereira menciona que con el aumento de la temperatura se incrementan los valores de Monóxido de Carbono (CO), condición que para el presente trabajo de tesis difiere totalmente y es inversamente proporcional, puesto que a mayores temperaturas de la cámara de combustión las concentraciones de CO tienden a disminuir, y a menores temperaturas de la cámara de combustión, las concentraciones de CO aumentan tal como se aprecia en el gráfico N° 08, para la temperatura de 679 °C en la cámara de combustión del secador, la concentración promedio de CO fue 47.8 ppm , y a temperatura de 176 °C en la cámara de combustión del secador, la concentración promedio de CO fue 744.8 ppm.

Según Varón. (2004). En el estudio denominado “caracterización térmica y estequiométrica de la combustión de la cascarilla de arroz”, afirman que debido a que la cascarilla contiene bajos niveles de azufre, también se obtendrán bajos niveles de SO₂ en los productos de la combustión, dando soporte al presente trabajo puesto que las concentraciones de SO₂ medidas varían entre 1.19 y 3.82 ppm., en efecto siendo una muestra totalmente heterogénea, registrándose valores solamente durante las mediciones efectuadas en el mes de diciembre 2009 y marzo 2010, para los meses de enero, febrero la concentraciones promedio de SO₂ fue 0.

Para determinar como influye la época del año (lluviosa entre los meses de octubre a mayo), en el contenido de humedad de la cascarilla de arroz, se registraron datos meteorológicos, tales como la temperatura ambiental y la humedad relativa, para lo meses de que van desde diciembre de 2009 a marzo de 2010, en la cual se puede mencionar que a mayor humedad relativa promedio, mayor es el contenido de humedad en la pajilla de arroz, lo que se demuestra en los datos obtenidos, tal es así que en el mes de diciembre se registró una humedad relativa promedio de 81.9 % y para la cascarilla de arroz una humedad total promedio de 17.25 % y para el mes de enero se registró una humedad relativa de 79.9 % y para la cascarilla de arroz una humedad total promedio de 16.38%.

3.3. CONCLUSIONES.

El porcentaje de humedad promedio de ingreso de la cascarilla de arroz a la cámara de combustión para el secado de materiales (caliza y arcilla) durante los meses de monitoreo fluctuaron entre 13.77% y 17.35%.

En cuanto al poder calorífico, éste alcanzó aproximadamente a un máximo de 3328 Kcal/kg, y un mínimo de 3114 Kcal/Kg., energía suficiente para el funcionamiento normal de la cámara de combustión. Así como también se concluye a mayor contenido de humedad de la cascarilla de arroz, menor será su poder calorífico.

Las temperaturas registradas del tablero de control con respecto a la cámara de combustión, durante las mediciones efectuadas en la chimenea del secador para determinar las concentraciones de Monóxido de Carbono (CO), Óxido de Nitrógeno (NO_x) y Dióxido de azufre (SO₂), fluctuaron entre 176 °C y 679 °C.

Se concluyendo que las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂), como consecuencia de la combustión del proceso de secado utilizando cascarilla de arroz se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) con un nivel de confianza del 97.5%. Por tanto se acepta la hipótesis H₀ y se rechaza la hipótesis H₁; demostrando que la empresa está cumpliendo con la normatividad ambiental vigente.

Las características principales que presenta la cascarilla de arroz, utilizado como combustible radica en que tanto el porcentaje de humedad como el poder calorífico, son suficientes para la realización de un proceso de combustión, que bien podría ser aprovechado por las ladrilleras, además que la utilización de este residuo contribuye a minimizar las concentraciones de los gases de combustión, teniendo en consideración que la quema del carbón lignito utilizado inicialmente como combustible en la Planta de Cementos Selva S.A., emitía concentraciones elevadas de Monóxido de carbono (CO), muchas de estas sobrepasando el Límite Máximo Permisible (LMP), a diferencia de la cascarilla de arroz que en el proceso de combustión las concentraciones de gases emitidos al ambiente no sobrepasan los LMP de la legislación ambiental vigente.

Las emisiones de monóxidos de carbono utilizando el carbón lignito, para el periodo comprendido desde el 2002 hasta agosto del 2007, sobrepasa los límites máximos permisibles con un intervalo de confianza del 97.5%, a diferencia de las concentraciones de los gases de combustión de óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, valores obtenidos que se encuentran dentro de los LMP.

Se concluye que las emisiones producidas por el carbón lignito son más contaminantes que las emitidas por la cascarilla de arroz, en especial para las concentraciones de monóxido de carbono.

Cementos Selva S.A., como empresa comprometida en el cuidado del medio ambiente viene generando acciones como la utilización la cascarilla de arroz como combustible, además el residuo que este proceso genera (cenizas), viene siendo utilizado como puzolana artificial en la fabricación de cemento, siendo adicionada durante la molienda del Cemento.

3.4. RECOMENDACIONES.

El contenido de humedad, la composición química y el poder calorífico de la cascarilla son aspectos importantes que hay que conocer para la construcción y el funcionamiento de las cámaras de combustión, hornos para la quema de algunos productos agrícolas, en tal sentido, se recomienda a Cementos Selva S.A. trabajar en cuanto a la composición química, ya que en el presente documento se han determinado solo el porcentaje de humedad y el poder calorífico.

Se recomienda a Cementos Selva S.A. e interesados en el tema de emisiones de gases de combustión, hacer monitoreos posteriores utilizando un tubo pitot, pues de esta manera además de las concentraciones a ser calculadas se podrá obtener el caudal de los gases de combustión, necesarias para el cálculo de las emisiones generadas en toneladas por mes o por año, para de esta manera establecerse una meta en cuanto a la reducción de los gases contaminantes que podría incluirse como parte de los programas de gestión ambiental, que se vienen ejecutando a la fecha.

Se recomienda mantener temperaturas mayores de 500° y menores de 700°, para evitar la emisión elevadas concentraciones de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno al ambiente, pues se observa que a temperaturas inferiores en la cámara de combustión como de 353 °C, las concentraciones de monóxido de carbono se elevan a 821.4 ppm., y a temperatura de 679 °C las concentraciones de monóxido son de 47.8 ppm., cabe resaltar que en ambos casos las emisiones se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP). Asimismo importante mencionar que las concentraciones de óxidos de nitrógenos a las mismas temperaturas tampoco sobrepasan los LMP.

Realizar monitoreos durante un año consecutivo para de esta manera poder identificar las variaciones según estación, teniendo en consideración que en el departamento de San Martín, el clima predominante es el sub tropical y tropical, distinguiéndose dos estaciones: una seca de junio a setiembre y la otra lluviosa de octubre a mayo, por ende el monitoreo realizado se efectuó en la estación lluviosa durante los meses de diciembre a marzo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ATKINS. P., 1998. "Química – Moléculas – Materia" Ediciones Omega S.A. Tercera edición. Barcelona.
- BOSSI. Jorge., 2008. "Recursos minerales de Uruguay" Ediciones D.Aljanaty.
- BROWN. L., 1998 "Química de la Ciencia". Editorial Prentice Hall. Sexta edición.
- BROWN S. Lugo, A.E. 1992. Aboverground Biomass Estimates for Tropical Moist Forest. of Brazilian Amazon. Interciencia 17: 8-18. p.
- CIFUENTES O., José Elvis. 2000. "Diseño de un incinerador de cascarilla de arroz para el Molino San Joaquín". Universidad de Ibagué.
- CERQUERA, Diego y GALINDO, Oscar. 2006. "Estudio de la eficiencia energética del proceso de secado de arroz del Molino Roa S.A." Universidad de Ibagué.
- CLEMENTE H., Santos. 2005. "Caracterización de partículas en suspensión del medio atmosférico urbano en Segunda Jerusalén Rioja – 2005" "Universidad Nacional de San Martín – T.Pag 50.
- Decreto N° 638 "Norma sobre Calidad de Aire y Control de la Contaminación Atmosférica. 26 de abril de 1995. República de Venezuela.
- DELUCHI, M.A., 1993. "Emissions from the Production, Storage, and Transport of Crude Oil and Gasoline." J. Air Waste Manage Association. 43:1486-1495.
- E. Roberts Alley y Associates, Inc. 2000. "Manual de Control de la Calidad del Aire". Editores Mac Graw-Hill. Tomo I y Tomo II.
- FERNÁNDEZ P. R. 1997. Taller: "Plomo y otros metales pesados, la atmósfera" Santiago de Chile. Centro de documentación CONAMA.
- FERNANDEZ, Beatriz. 2004. "Eficiencia energética", "Aerodinámica de la combustión con doble turbolizador estático" UCF.
- FORZATTI, P. 1994. "New Developments in Selective Oxidation" p. 777 (1994).

- FORZATTI P. 1996. L. Lietti, Heterogeneous Chemistry Reviews, (1996) Pag. 33-51.
- GANEM, Eduardo. 1991 "Diálogo sobre la Energía y el medio ambiente en América Latina y el Caribe". Revista Energética # 15 OLADE. Ecuador.
- GAITAN, Oscar. 2004. "Diseño y construcción de un calentador de agua usando como combustible, cascarilla de arroz. Universidad de Ibagué.
- GARRIDO S., Nuria. 1999. "Contaminación atmosférica". Universidad Politécnica de Catalunya
<http://usuarios.multimania.es/ambiental/atmosfer.html#CO>
- GLASSMAN, Irving. 1996. "Combustión". Tercera edición Academia de Press. San Diego.
- IFC/BM (Corporación financiera Internacional). "Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fabricación de cemento y cal" 30 de abril de 2007.
- ITDG-Perú. Documentación interna del proyecto "Utilización de la cascarilla de arroz como fuente energética en ladrilleras". 1999-2000.
- INEI. "Compendio Estadístico 2009", Sistema Estadístico Nacional. Tomo II. Agosto. Perú.
- L.M. Ahumada & J.E. Rodríguez-Páez. 2006 "Uso del SiO₂ obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio"
(<http://www.accefyn.org.co/PubliAcad/Periodicas/Volumen30/117/581%.pdf>).
- MAYORGA, Emilio 2000. "Uso eficiente de la energía en actividades productivas del sector rural". Glaers-Cler, Boletín Informativo N° 8, junio. Montevideo, Uruguay.
- MONTOYA C., Guillermo et al.1995."Sistemas agroforestales para la captura de carbono" Chiapas. Mexico.

- PROGRAMA APGEP-SENREM. Documento de sistematización del proyecto “Utilización de la cascarilla de arroz como fuente energética en ladrilleras”. Agosto 2001. Lima. Perú.
- Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones.
- RODRÍGUEZ., J.E. 1992. “Estudio Geográfico integral para la proyección del desarrollo socioeconómico de la Ciénaga de Zapata (1992). Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, 225 p.
- SEINFELD. E. 1978. “Contaminación Atmosférica”. Editores. McGraw-Hill.
- SÁNCHEZ., 2001. “Uso de la cascarilla de arroz como fuente energética en ladrilleras”. Programa de Energía ITDG. Perú.
- VALVERDE, Agustín. 2006 “Eficiencia energética: Estudio sobre la cascarilla de arroz en los molinos del departamento de Tolima” CEEMA, UCF, 2006.
- VARÓN C. Javier F. 2002. “Caracterización teórica de la gasolina y el gas natural de acuerdo a su temperatura de llama adiabática y a la composición de los productos de su combustión. Corporación universitaria de Ibagué.
- VARON C. Javier. 2004 “Caracterización térmica y estequiométrica de la combustión de la cascarilla de arroz”- Corporación Universitaria de Ibagué.
- VILLANUEVA, C.E. 2004. “Monóxido de carbono, medicina legal y toxicología”. Barcelona. Masson. ISBN 84-458-1415-X.

Anexos:

ANEXO N° 01

PANEL FOTOGRÁFICO.

Foto N° 01: Zona de trabajo para la medición de los gases de combustión en la chimenea del área de secado.

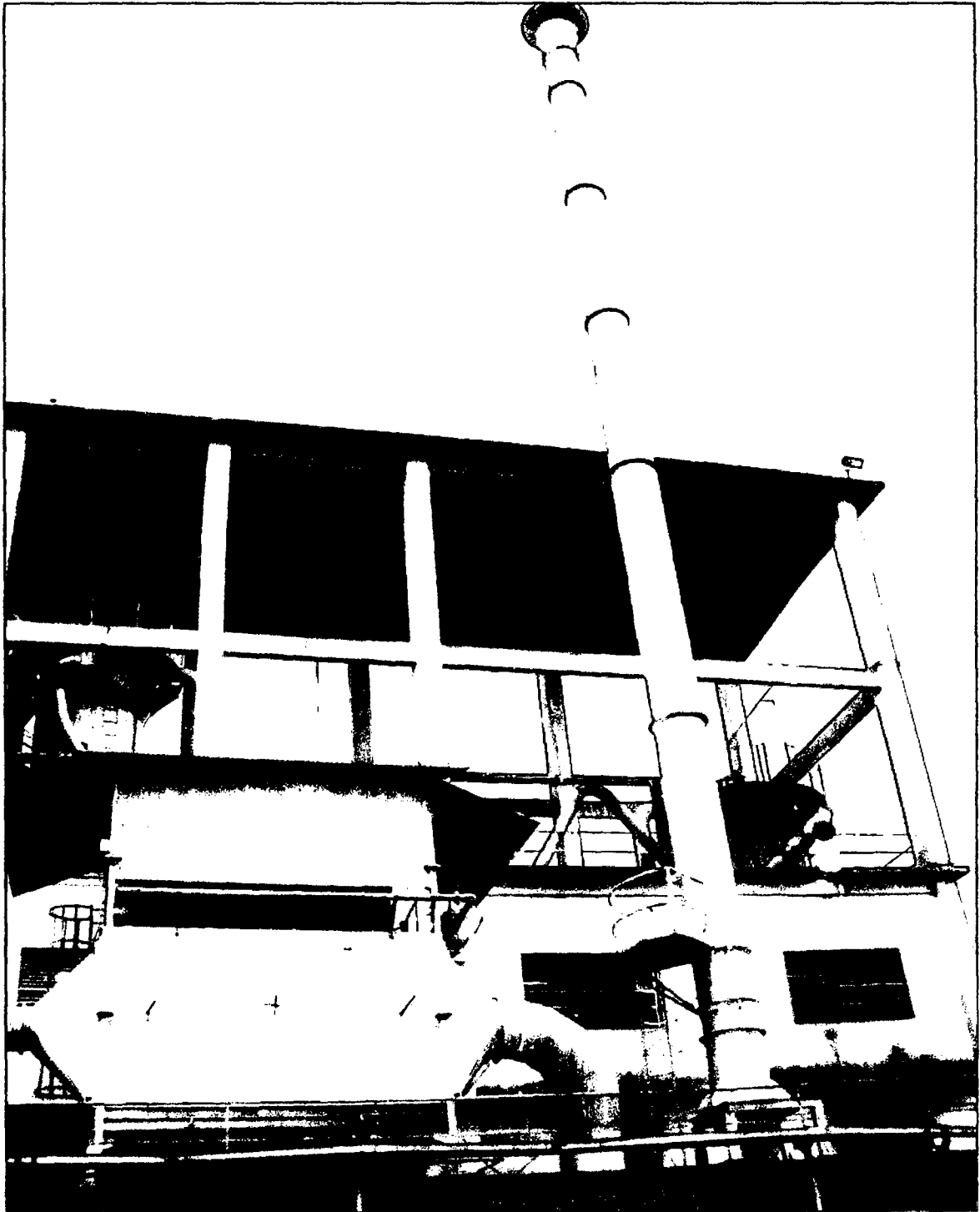


Foto N° 02: Cámara de combustión para el secado de materiales.

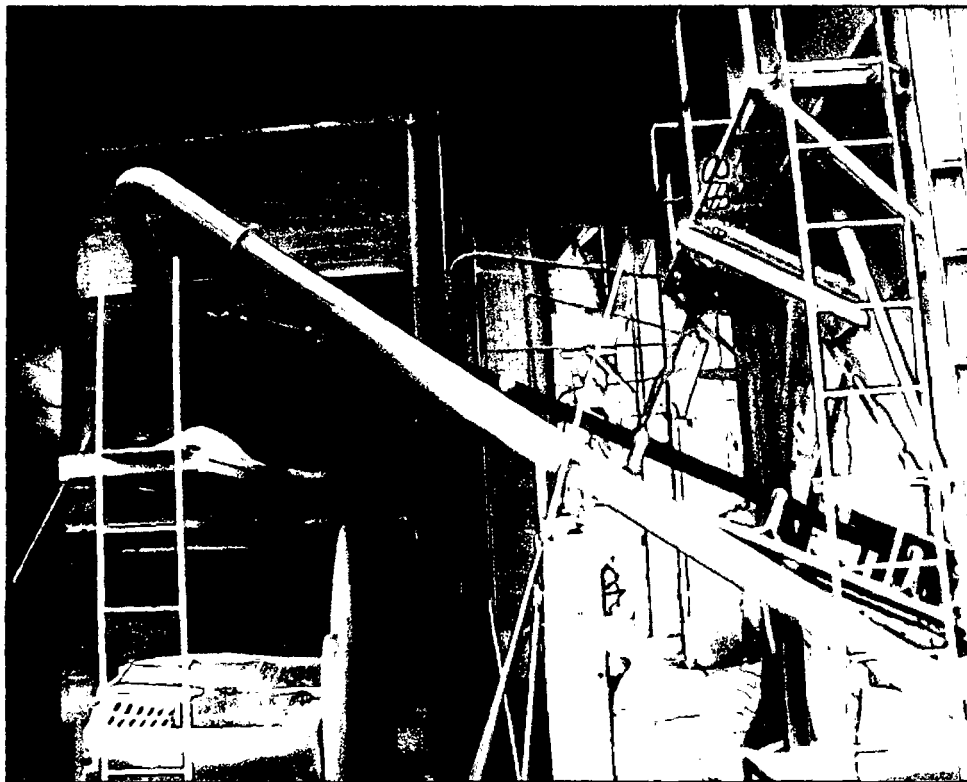
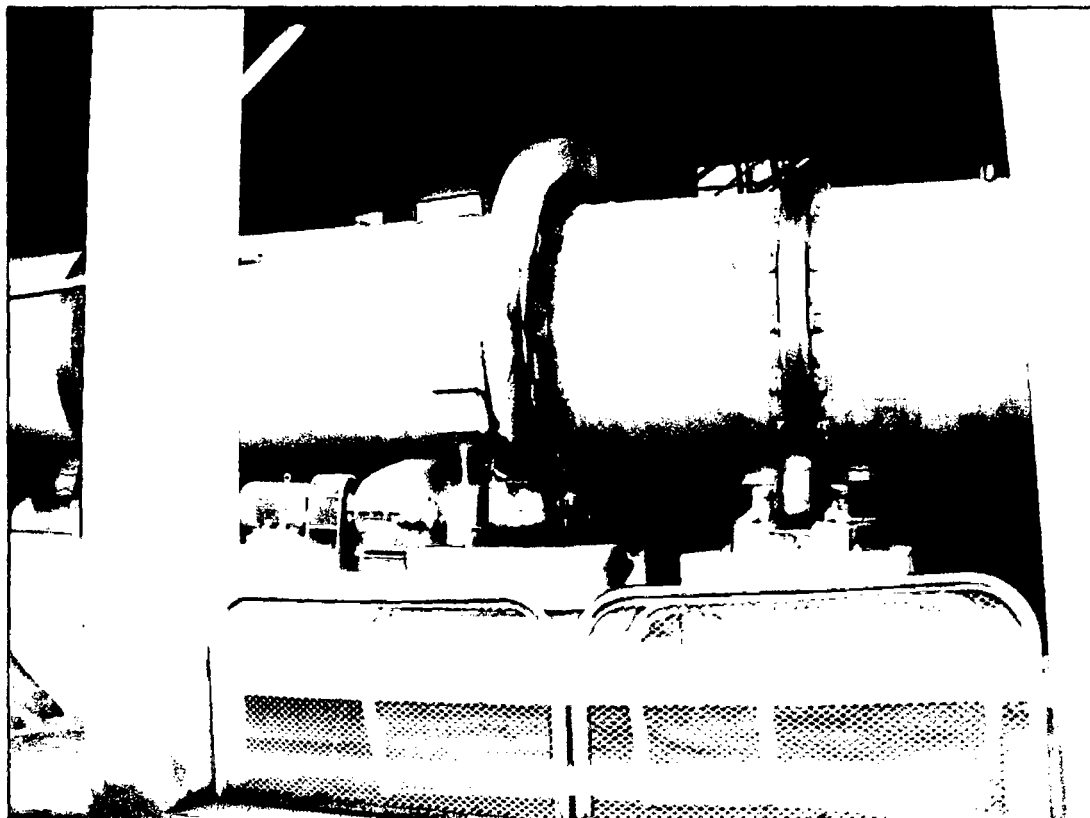


Foto N° 03: Secador rotatorio para las materias primas tales como la caliza y arcilla.



ANEXO N° 02

REPORTES OBTENIDOS UTILIZANDO EL ANALIZADOR DE GASES MÚLTIPLES TESTO 350 S.

Reportes de las mediciones de gases de combustión en la chimenea del secador
correspondientes al mes de diciembre del 2009.

<p>Testo 1250 S</p> <p>Testo 1250 S</p> <p>CM: 01000104 /USO</p> <p>CEMENTOS SELVO SO</p> <p>911</p> <p>12/02/09 00:57:06</p> <p>Fuel: Natur.gas</p> <p>CE: 1 00 T2</p> <p>10.02 % O2</p> <p>1.00 % CO2</p> <p>0.00 % CO2-TD</p> <p>SI 000 NO</p> <p>00 000 NO</p> <p>00 000 NOX</p> <p>00 000 SO2</p> <p>04.0 % Efficiency</p> <p>569.0 % Excess air</p> <p>1.10 1/m Damp</p> <p>0.0 0.0</p> <p>10.0 1/m 00</p> <p>010.0 1/m 00</p> <p>00.0 00 T2</p> <p>Heat transf, 00: --- 00</p> <p>Reporte Preciso</p>	<p>Testo 1250 S</p> <p>Testo 1250 S</p> <p>CM: 01000104 /USO</p> <p>CEMENTOS SELVO SO</p> <p>911</p> <p>12/02/09 10:12:10</p> <p>Fuel: Natur.gas</p> <p>CE: 1 00 T2</p> <p>10.02 % O2</p> <p>1.00 % CO2</p> <p>0.00 % CO2-TD</p> <p>SI 000 NO</p> <p>00 000 NO</p> <p>00 000 NOX</p> <p>00 000 SO2</p> <p>04.0 % Efficiency</p> <p>569.0 % Excess air</p> <p>1.10 1/m Damp</p> <p>0.0 0.0</p> <p>10.0 1/m 00</p> <p>010.0 1/m 00</p> <p>00.0 00 T2</p> <p>Heat transf, 00: --- 00</p> <p>Reporte Preciso</p>	<p>Testo 1250 S</p> <p>Testo 1250 S</p> <p>CEMENTOS SELVO SO</p> <p>911</p> <p>12/02/09 10:12:12</p> <p>Fuel: Natur.gas</p> <p>CE: 1 00 T2</p> <p>10.02 % O2</p> <p>1.00 % CO2</p> <p>0.00 % CO2-TD</p> <p>SI 000 NO</p> <p>00 000 NO</p> <p>00 000 NOX</p> <p>00 000 SO2</p> <p>04.0 % Efficiency</p> <p>569.0 % Excess air</p> <p>1.10 1/m Damp</p> <p>0.0 0.0</p> <p>10.0 1/m 00</p> <p>010.0 1/m 00</p> <p>00.0 00 T2</p> <p>Heat transf, 00: --- 00</p> <p>Reporte Preciso</p>
--	--	---

<p>Testo 1250 S</p> <p>Testo 1250 S</p> <p>CM: 01000104 /USO</p> <p>CEMENTOS SELVO SO</p> <p>911</p> <p>12/02/09 10:14:57</p> <p>Fuel: Natur.gas</p> <p>CE: 1 00 T2</p> <p>10.02 % O2</p> <p>1.00 % CO2</p> <p>0.00 % CO2-TD</p> <p>SI 000 NO</p> <p>00 000 NO</p> <p>00 000 NOX</p> <p>00 000 SO2</p> <p>04.0 % Efficiency</p> <p>569.0 % Excess air</p> <p>1.10 1/m Damp</p> <p>0.0 0.0</p> <p>10.0 1/m 00</p> <p>010.0 1/m 00</p> <p>00.0 00 T2</p> <p>Heat transf, 00: --- 00</p> <p>Reporte Preciso</p>	<p>Testo 1250 S</p> <p>Testo 1250 S</p> <p>CM: 01000104 /USO</p> <p>CEMENTOS SELVO SO</p> <p>911</p> <p>12/02/09 11:00:05</p> <p>Fuel: Natur.gas</p> <p>CE: 1 00 T2</p> <p>10.02 % O2</p> <p>1.00 % CO2</p> <p>0.00 % CO2-TD</p> <p>SI 000 NO</p> <p>00 000 NO</p> <p>00 000 NOX</p> <p>00 000 SO2</p> <p>04.0 % Efficiency</p> <p>569.0 % Excess air</p> <p>1.10 1/m Damp</p> <p>0.0 0.0</p> <p>10.0 1/m 00</p> <p>010.0 1/m 00</p> <p>00.0 00 T2</p> <p>Heat transf, 00: --- 00</p> <p>Reporte Preciso</p>
--	--

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282124 /USQ

CEMENTOS SELVO SQ

911

12/10/09 10:00:45

Fuel: Natur.gas

107.7 00 T4
17.49 % Oxygen
1.93 % CO2
3.48 % CO2-10
45 ppm CO
69 ppm NO
72 ppm NOX
0 ppm SO2
76.8 % Efficiency
424.9 % Excess air
0.17 1/m Pump
9.0 1/m Batt.
20.2 inH2O
20.2 % Loss
918.9 kg/h Mass CO2
29.4 kg Absolut.pres
00 T3

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282124 /USQ

CEMENTOS SELVO SQ

911

12/10/09 10:00:46

Fuel: Natur.gas

132.4 00 T4
16.97 % Oxygen
2.22 % CO2
4.04 % CO2-10
34 ppm CO
48 ppm NO
50 ppm NOX
0 ppm SO2
75.2 % Efficiency
360.9 % Excess air
0.21 1/m Pump
8.9 1/m Batt.
24.8 inH2O
24.8 % Loss
918.7 kg/h Mass CO2
31.3 kg Absolut.pres
00 T3

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282124 /USQ

CEMENTOS SELVO SQ

911

12/10/09 10:00:53

Fuel: Natur.gas

120.9 00 T4
16.94 % Oxygen
2.24 % CO2
4.02 % CO2-10
75 ppm CO
45 ppm NO
48 ppm NOX
0 ppm SO2
77.6 % Efficiency
357.3 % Excess air
0.25 1/m Pump
8.8 1/m Batt.
22.4 inH2O
22.4 % Loss
918.6 kg/h Mass CO2
35.4 kg Absolut.pres
00 T3

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282124 /USQ

CEMENTOS SELVO SQ

911

12/10/09 10:48:46

Fuel: Natur.gas

103.2 00 T4
17.95 % Oxygen
1.67 % CO2
3.07 % CO2-10
17 ppm CO
32 ppm NO
34 ppm NOX
0 ppm SO2
76.8 % Efficiency
496.9 % Excess air
0.33 1/m Pump
8.8 1/m Batt.
23.2 inH2O
23.2 % Loss
918.4 kg/h Mass CO2
34.9 kg Absolut.pres
00 T3

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282124 /USQ

CEMENTOS SELVO SQ

911

12/10/09 11:02:50

Fuel: Natur.gas

94.9 00 T4
18.26 % Oxygen
1.50 % CO2
2.66 % CO2-10
7 ppm CO
33 ppm NO
34 ppm NOX
0 ppm SO2
79.3 % Efficiency
500.0 % Excess air
0.38 1/m Pump
8.8 1/m Batt.
20.7 inH2O
20.7 % Loss
918.3 kg/h Mass CO2
32.0 kg Absolut.pres
00 T3

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282134 /USA

CEMENTOS SELVA SA

011

12/23/09 09135113

Fuel: Natur.gas

49.4	OC Ta
19.37	% Oxygen
0.99	% CO2
1.66	% CO2-IR
01	ppm CO
42	ppm NO
44	ppm NOX
1	ppm SO2
84.6	% Efficiency
959.9	% Excess air
0.34	1/m Pump
9.5	U Batt.
---	inW AO
15.4	% loss
920.4	kg/h Mass CO2
39.2	OC Ta

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282134 /USA

CEMENTOS SELVA SA

011

12/23/09 09150135

Fuel: Natur.gas

49.6	OC Ta
19.18	% Oxygen
0.98	% CO2
1.69	% CO2-IR
22	ppm CO
42	ppm NO
44	ppm NOX
0	ppm SO2
87.1	% Efficiency
861.3	% Excess air
0.33	1/m Pump
9.3	U Batt.
---	inW AO
12.9	% loss
920.5	kg/h Mass CO2
39.1	OC Ta

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282134 /USA

CEMENTOS SELVA SA

011

12/23/09 10107134

Fuel: Natur.gas

49.2	OC Ta
19.15	% Oxygen
1.00	% CO2
1.70	% CO2-IR
13	ppm CO
46	ppm NO
48	ppm NOX
0	ppm SO2
88.3	% Efficiency
847.2	% Excess air
0.39	1/m Pump
9.2	U Batt.
---	inW AO
11.8	% loss
920.6	kg/h Mass CO2
42.7	OC Ta

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282134 /USA

CEMENTOS SELVA SA

011

12/23/09 10121137

Fuel: Natur.gas

49.8	OC Ta
19.36	% Oxygen
0.99	% CO2
1.59	% CO2-IR
26	ppm CO
33	ppm NO
35	ppm NOX
1	ppm SO2
86.6	% Efficiency
953.8	% Excess air
0.42	1/m Pump
9.1	U Batt.
---	inW AO
13.4	% loss
920.5	kg/h Mass CO2
39.8	OC Ta

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SN: 01282134 /USA

CEMENTOS SELVA SA

011

12/23/09 10136110

Fuel: Natur.gas

49.9	OC Ta
19.46	% Oxygen
0.93	% CO2
1.52	% CO2-IR
38	ppm CO
33	ppm NO
35	ppm NOX
0	ppm SO2
86.1	% Efficiency
1010.4	% Excess air
0.44	1/m Pump
9.1	U Batt.
---	inW AO
13.9	% loss
920.5	kg/h Mass CO2
38.4	OC Ta

Heat transf. OF: --- OF

Reporte Preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SM: 01282104 /USO

CEMENTOS SELVO SA

911

12/30/09 10:41:41

Fuel: Natur.gas

79.5	00 T4
20.39	% Oxygen
0.53	% CO2
450	% CO2-10
7	ppm CO
7	ppm NO
0	ppm NOX
0	ppm SO2
	% Efficiency
	% Excess Air
0.44	1/m Pump
9.6	W Batt.
	Inch 60
	% Loss
	kg/h Mass CO2
919.0	kg3 absolut.pres
30.3	00 T3

Heat transf.05: --- 0F

Reporte preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SM: 01282104 /USO

CEMENTOS SELVO SA

911

12/30/09 10:16:34

Fuel: Natur.gas

79.7	00 T4
20.12	% Oxygen
0.71	% CO2
473	% CO2-10
10	ppm CO
10	ppm NO
10	ppm NOX
0	ppm SO2
	% Efficiency
	% Excess Air
0.48	1/m Pump
9.6	W Batt.
	Inch 60
	% Loss
	kg/h Mass CO2
919.9	kg3 absolut.pres
30.1	00 T3

Heat transf.05: --- 0F

Reporte preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SM: 01282104 /USO

CEMENTOS SELVO SA

911

12/30/09 10:04:12

Fuel: Natur.gas

79.8	00 T4
20.39	% Oxygen
0.51	% CO2
248	% CO2-10
6	ppm CO
6	ppm NO
0	ppm NOX
0	ppm SO2
	% Efficiency
	% Excess Air
0.51	1/m Pump
9.5	W Batt.
	Inch 60
	% Loss
	kg/h Mass CO2
919.0	kg3 absolut.pres
30.3	00 T3

Heat transf.05: --- 0F

Reporte preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SM: 01282104 /USO

CEMENTOS SELVO SA

911

12/30/09 10:45:50

Fuel: Natur.gas

44.7	00 T4
20.10	% Oxygen
0.63	% CO2
708	% CO2-10
11	ppm CO
11	ppm NO
0	ppm NOX
0	ppm SO2
	% Efficiency
	% Excess Air
0.53	1/m Pump
9.5	W Batt.
	Inch 60
	% Loss
	kg/h Mass CO2
919.9	kg3 absolut.pres
30.3	00 T3

Heat transf.05: --- 0F

Reporte preciso

Testo 1350 S

Testo 1350 S

SM: 01282104 /USO

CEMENTOS SELVO SA

911

12/30/09 11:00:33

Fuel: Natur.gas

79.4	00 T4
19.19	% Oxygen
0.98	% CO2
1.52	% CO2-10
948	ppm CO
10	ppm NO
10	ppm NOX
0	ppm SO2
	% Efficiency
	% Excess Air
852.9	1/m Pump
0.54	W Batt.
9.4	Inch 60
	% Loss
	kg/h Mass CO2
919.8	kg3 absolut.pres
30.3	00 T3

Heat transf.05: --- 0F

Reporte preciso

Reportes de las mediciones de gases de combustión en la chimenea del secador correspondientes al mes de enero del 2010.

Testo t350 S
Testo t350 S
SNI: 01282134 /USO
CEMENTOS SELVA SA
011
01/09/10 10:24:47
Fuel: Natur.gas
96.7 00 T_f
17.40 00 O₂
1.00 00 CO₂
3.40 00 CO₂-T₀
4.0 00 CO₂
0.0 00 NO
0.0 00 NO_x
0.0 00 SO₂
411.4 00 Efficiency
0.24 1/m Pump
0.0 00 Batt.
0.0 00 inW 00
0.0 00 % loss
918.3 kg/h Mass CO₂
00 T_a
Heat transf, 0F: --- 0F
Reporte Preciso

Testo t350 S
Testo t350 S
SNI: 01282134 /USO
CEMENTOS SELVA SA
011
01/09/10 10:41:29
Fuel: Natur.gas
97.5 00 T_f
17.77 00 O₂
1.00 00 CO₂
3.40 00 CO₂-T₀
4.0 00 CO₂
0.0 00 NO
0.0 00 NO_x
0.0 00 SO₂
77.6 00 Efficiency
466.5 00 Excess air
0.40 1/m Pump
0.1 00 Batt.
0.0 00 inW 00
22.2 00 % loss
918.1 kg/h Mass CO₂
00 T_a
Heat transf, 0F: --- 0F
Reporte Preciso

Testo t350 S
Testo t350 S
SNI: 01282134 /USO
CEMENTOS SELVA SA
011
01/09/10 10:55:25
Fuel: Natur.gas
114.1 00 T_f
17.74 00 O₂
1.70 00 CO₂
3.15 00 CO₂-T₀
4.0 00 CO₂
0.0 00 NO
0.0 00 NO_x
0.0 00 SO₂
75.4 00 Efficiency
461.0 00 Excess air
0.46 1/m Pump
0.0 00 Batt.
0.0 00 inW 00
24.6 00 % loss
919.1 kg/h Mass CO₂
00 T_a
Heat transf, 0F: --- 0F
Reporte Preciso

Testo t350 S
Testo t350 S
SNI: 01282134 /USO
CEMENTOS SELVA SA
011
01/09/10 11:10:16
Fuel: Natur.gas
102.5 00 T_f
17.01 00 O₂
2.00 00 CO₂
3.63 00 CO₂-T₀
4.0 00 CO₂
0.0 00 NO
0.0 00 NO_x
0.0 00 SO₂
79.6 00 Efficiency
364.9 00 Excess air
0.54 1/m Pump
7.9 00 Batt.
0.0 00 inW 00
20.4 00 % loss
918.2 kg/h Mass CO₂
00 T_a
Heat transf, 0F: --- 0F
Reporte Preciso

Testo t350 S
Testo t350 S
SNI: 01282134 /USO
CEMENTOS SELVA SA
011
01/09/10 11:25:30
Fuel: Natur.gas
111.9 00 T_f
17.07 00 O₂
2.16 00 CO₂
3.64 00 CO₂-T₀
4.0 00 CO₂
0.0 00 NO
0.0 00 NO_x
0.0 00 SO₂
78.9 00 Efficiency
371.5 00 Excess air
0.57 1/m Pump
7.8 00 Batt.
0.0 00 inW 00
21.7 00 % loss
919.1 kg/h Mass CO₂
00 T_a
Heat transf, 0F: --- 0F
Reporte Preciso

[illegible]

Testo 1950 S

SN: 01282124 /USO

CEMENTOS SELVO SA

011

01/21/10 11:08:14

Fuel: Natur.gas

116.4 0C T4
19.82 % Oxygen
1.54 % CO2
2.32 % CO2-10
41 ppm CO
57 ppm NO
60 ppm NOX
0 ppm SO2
69.4 % Efficiency
539.5 1/m Pump
0.60 1/m Pump
8.9 1/m Batt.
30.6 1/m Batt.

kg/h Mass CO2
918.3 kPa Absolut, pres
31.1 0C T3

Heat transf, 0F: --- 0F

Reporte preciso

Testo 1950 S

Testo 1950 S

SN: 01282124 /USO

CEMENTOS SELVO SA

011

01/21/10 11:08:14

Fuel: Natur.gas

116.4 0C T4
19.82 % Oxygen
1.54 % CO2
2.32 % CO2-10
41 ppm CO
57 ppm NO
60 ppm NOX
0 ppm SO2
69.4 % Efficiency
539.5 1/m Pump
0.60 1/m Pump
8.9 1/m Batt.
30.6 1/m Batt.

kg/h Mass CO2
918.3 kPa Absolut, pres
31.1 0C T3

Heat transf, 0F: --- 0F

Reporte preciso

Testo 1950 S

Testo 1950 S

SN: 01282124 /USO

CEMENTOS SELVO SA

011

01/21/10 11:35:35

Fuel: Natur.gas

116.4 0C T4
19.82 % Oxygen
1.54 % CO2
2.32 % CO2-10
41 ppm CO
57 ppm NO
60 ppm NOX
0 ppm SO2
69.4 % Efficiency
539.5 1/m Pump
0.60 1/m Pump
8.9 1/m Batt.
30.6 1/m Batt.

kg/h Mass CO2
918.3 kPa Absolut, pres
31.1 0C T3

Heat transf, 0F: --- 0F

Reporte preciso

Testo 1950 S

Testo 1950 S

SN: 01282124 /USO

CEMENTOS SELVO SA

011

01/21/10 11:50:11

Fuel: Natur.gas

116.4 0C T4
19.82 % Oxygen
1.54 % CO2
2.32 % CO2-10
41 ppm CO
57 ppm NO
60 ppm NOX
0 ppm SO2
69.4 % Efficiency
539.5 1/m Pump
0.60 1/m Pump
8.9 1/m Batt.
30.6 1/m Batt.

kg/h Mass CO2
918.3 kPa Absolut, pres
31.1 0C T3

Heat transf, 0F: --- 0F

Reporte preciso

Testo 1950 S

Testo 1950 S

SN: 01282124 /USO

CEMENTOS SELVO SA

011

01/21/10 11:20:53

Fuel: Natur.gas

116.4 0C T4
19.82 % Oxygen
1.54 % CO2
2.32 % CO2-10
41 ppm CO
57 ppm NO
60 ppm NOX
0 ppm SO2
69.4 % Efficiency
539.5 1/m Pump
0.60 1/m Pump
8.9 1/m Batt.
30.6 1/m Batt.

kg/h Mass CO2
918.2 kPa Absolut, pres
31.1 0C T3

Heat transf, 0F: --- 0F

Reporte preciso

Reportes de las mediciones de gases de combustión en la chimenea del secador correspondientes al mes de febrero del 2010.

Torta toén s		Torta toén s		Torta toén s	
Torta toén s		Torta toén s		Torta toén s	
CMT. NITROGENA /USO		CMT. NITROGENA /USO		CMT. NITROGENA /USO	
CEMENTOS CELULO SO		CEMENTOS CELULO SO		CEMENTOS CELULO SO	
011		011		011	
02/02/10 11:10:14		02/02/10 11:05:49		02/02/10 11:40:52	
EQUIP. Matur, 035		EQUIP. Matur, 035		EQUIP. Matur, 035	
64.0	00 T2	64.0	00 T2	64.0	00 T2
10.70	% NITROGEN	10.70	% NITROGEN	10.70	% NITROGEN
0.70	% CO2	0.70	% CO2	0.70	% CO2
1.00	% CO2-TO	1.00	% CO2-TO	1.00	% CO2-TO
74.7	00 CO	74.7	00 CO	74.4	00 CO
4	00 NO	4	00 NO	4	00 NO
4	00 NOV	4	00 NOV	4	00 NOV
0	00 SO	0	00 SO	0	00 SO
74.1	% EFFICIENCY	74.0	% EFFICIENCY	74.0	% EFFICIENCY
100.0	% EXCESS 315	100.0	% EXCESS 315	100.0	% EXCESS 315
0.64	1/4 DUMP	0.65	1/4 DUMP	0.65	1/4 DUMP
0.4	U DATT.	0.0	U DATT.	0.1	U DATT.
0.0	INU 00	0.0	INU 00	0.0	INU 00
20.0	% LOSS	20.1	% LOSS	20.1	% LOSS
010.0	WORK M3/HR 002	010.0	WORK M3/HR 002	010.4	WORK M3/HR 002
01.0	00 T2	01.0	00 T2	00.5	00 T2
WGT. TRNGA, 051 --- 05		WGT. TRNGA, 051 --- 05		WGT. TRNGA, 051 --- 05	
00000000 00000000		00000000 00000000		00000000 00000000	

Torta toén s		Torta toén s		Torta toén s	
Torta toén s		Torta toén s		Torta toén s	
CMT. NITROGENA /USO		CMT. NITROGENA /USO		CMT. NITROGENA /USO	
CEMENTOS CELULO SO		CEMENTOS CELULO SO		CEMENTOS CELULO SO	
011		011		011	
02/02/10 11:05:09		02/02/10 10:40:01		02/02/10 10:40:01	
EQUIP. Matur, 035		EQUIP. Matur, 035		EQUIP. Matur, 035	
64.0	00 T2	64.0	00 T2	64.0	00 T2
10.70	% NITROGEN	10.70	% NITROGEN	10.70	% NITROGEN
0.70	% CO2	0.70	% CO2	0.70	% CO2
1.00	% CO2-TO	1.00	% CO2-TO	1.00	% CO2-TO
74.7	00 CO	74.7	00 CO	74.4	00 CO
4	00 NO	4	00 NO	4	00 NO
4	00 NOV	4	00 NOV	4	00 NOV
0	00 SO	0	00 SO	0	00 SO
75.7	% EFFICIENCY	74.0	% EFFICIENCY	74.0	% EFFICIENCY
100.0	% EXCESS 315	100.0	% EXCESS 315	100.0	% EXCESS 315
0.64	1/4 DUMP	0.64	1/4 DUMP	0.64	1/4 DUMP
0.0	U DATT.	0.0	U DATT.	0.0	U DATT.
0.0	INU 00	0.0	INU 00	0.0	INU 00
20.0	% LOSS	20.1	% LOSS	20.0	% LOSS
010.0	WORK M3/HR 002	010.0	WORK M3/HR 002	010.0	WORK M3/HR 002
01.0	00 T2	01.0	00 T2	01.0	00 T2
WGT. TRNGA, 051 --- 05		WGT. TRNGA, 051 --- 05		WGT. TRNGA, 051 --- 05	
00000000 00000000		00000000 00000000		00000000 00000000	

Reportes de las mediciones de gases de combustión en la chimenea del secador correspondientes al mes de marzo del 2010.

Testo 1350 S	Testo 1350 S	Testo 1350 S
Testo 1350 S	Testo 1350 S	Testo 1350 S
SN: 01000104 /USO	SN: 01000104 /USO	SN: 01000104 /USO
CEMENTOS SELVA SA	CEMENTOS SELVA SA	CEMENTOS SELVA SA
011	011	011
02/02/10 11:20:52	02/02/10 11:26:12	02/02/10 11:50:44
Fuel: Natur.gas	Fuel: Natur.gas	Fuel: Natur.gas
49.0 00 T2 16.47 % Oxygen 2.46 % CO2 4.27 % CO2-10 24 ppm CO 61 ppm NO 44 ppm NOx 0 ppm SO2 % Efficiency 919.1 % Excess air 0.64 1/m Oump 9.1 U Batt. inu 00 % loss kg/h Mass CO2 919.2 kg absolut.pres 29.5 00 T2	46.6 00 T2 16.22 % Oxygen 1.46 % CO2 2.52 % CO2-10 11 ppm CO 61 ppm NO 64 ppm NOx 4 ppm SO2 % Efficiency 976.1 % Excess air 0.64 1/m Oump 9.2 U Batt. inu 00 % loss kg/h Mass CO2 919.2 kg absolut.pres 31.2 00 T2	127.4 00 T2 16.56 % Oxygen 2.45 % CO2 4.27 % CO2-10 10 ppm CO 60 ppm NO 63 ppm NOx 0 ppm SO2 % Efficiency 920.8 % Excess air 0.66 1/m Oump 9.2 U Batt. inu 00 % loss kg/h Mass CO2 919.1 kg absolut.pres 22.0 00 T2
Heat transf, 0F: --- 0F	Heat transf, 0F: --- 0F	Heat transf, 0F: --- 0F
Reporte Preciso	Reporte Preciso	Reporte Preciso

Testo 1350 S
Testo 1350 S
SN: 01000104 /USO
CEMENTOS SELVA SA
011
02/02/10 12:05:18
Fuel: Natur.gas
122.0 00 T2 16.70 % Oxygen 2.09 % CO2 4.12 % CO2-10 16 ppm CO 63 ppm NO 66 ppm NOx 0 ppm SO2 % Efficiency 933.7 % Excess air 0.64 1/m Oump 9.1 U Batt. inu 00 % loss kg/h Mass CO2 919.0 kg absolut.pres 29.5 00 T2
Heat transf, 0F: --- 0F
Reporte Preciso

Testo 1350 S
Testo 1350 S
SN: 01000104 /USO
CEMENTOS SELVA SA
011
02/02/10 12:20:15
Fuel: Natur.gas
88.5 00 T2 17.04 % Oxygen 2.12 % CO2 2.75 % CO2-10 21 ppm CO 62 ppm NO 66 ppm NOx 0 ppm SO2 % Efficiency 970.8 % Excess air 0.66 1/m Oump 9.1 U Batt. inu 00 % loss kg/h Mass CO2 919.0 kg absolut.pres 31.9 00 T2
Heat transf, 0F: --- 0F
Reporte Preciso

ANEXO N° 03

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL ANALIZADOR DE GASES

MÚLTIPLES TESTO 350 S.



INSTRUMENTS LAB S.A.C.
Optimización con Calidad testo

**INFORME DE CALIBRACIÓN N° IC0100809**

Descripción: Analizador de Gases N° de Documento: 0100809
 Modelo: Testo 350 S N° de Serie: 01239856
 Cliente: CEMENTOS SELVA S.A. Fabricante: TESTO AG
 N° informe de Calibración: IC0100809 Página 2 de 2

1. CONDICIONES INICIALES

N° PRODUCTO	GAS PATRÓN	REFERENCIA	VALOR MEDIDO	DESVIACIÓN PERMITIDA
Lote: 010111588	O ₂	1.50%	---	± 0.20%
Código: 60000166				
Certificado: 08/000012				
Lote: 010111588	CO	1000 ppm	1008 ppm	± 50 ppm
Código: 60000166				
Certificado: 08/000012				
Parte N°: X02NI99C33A0WISC	SO ₂	995 ppm	963 ppm	± 50 ppm
Referencia N°: 82-124166637-7				
Cilindro N°: FF2122				
Parte N°: E02NI99E33A07YC	NO	307.4 ppm	285 ppm	± 15 ppm
Referencia N°: 82-124119315-1				
Cilindro N°: FF43363				

2. CONDICIONES FINALES

N° PRODUCTO	GAS PATRÓN	REFERENCIA	VALOR MEDIDO	DESVIACIÓN PERMITIDA
Lote: 010111588	O ₂	1.50%	1.49%	± 0.20%
Código: 60000166				
Certificado: 08/000012				
Lote: 010111588	CO	1000 ppm	1000 ppm	± 50 ppm
Código: 60000166				
Certificado: 08/000012				
Parte N°: X02NI99C33A0WISC	SO ₂	995 ppm	996 ppm	± 50 ppm
Referencia N°: 82-124166637-7				
Cilindro N°: FF2122				
Parte N°: E02NI99E33A07YC	NO	307.4 ppm	307 ppm	± 15 ppm
Referencia N°: 82-124119315-1				
Cilindro N°: FF43363				

3. CONCLUSIONES

- ✓ En las condiciones iniciales este instrumento requería el cambio de la celda de oxígeno por una nueva, la celda nueva tiene N° de Serie 13981413 (como figura en el reporte adjunto). Sumado a ello la celda de monóxido de nitrógeno (NO) presentaba una desviación fuera del rango recomendado por el fabricante, por lo cual se procedió al ajuste de la misma.
- ✓ Las celdas de dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO) presentaban desviaciones dentro del rango recomendado por el fabricante, pero de todas formas se realizó un ajuste mínimo para mejorar su precisión. La celda infrarroja de dióxido de carbono (CO₂) se calibró al aire, presentando resultados satisfactorios.
- ✓ Se realizó la limpieza interna del instrumento, así como la prueba de fugas y la prueba de flujo, encontrándose el instrumento en óptimas condiciones. Se recomienda realizar las inspecciones de mantenimiento preventivo como limpieza interna de la sonda y el cambio de filtros cuando lo requiera.
- ✓ Este instrumento se encuentra en muy buenas condiciones operativas.

INSTRUMENTS LAB S.A.C.

Ing° José Nakamura
Gerente General



INFORME DE CALIBRACIÓN N° IC0100809

Descripción: Analizador de Gases N° de Documento: 0100809
Modelo: Testo 350 S N° de Serie: 01239856
Cliente: CEMENTOS SELVA S.A. Fabricante: TESTO AG
N° informe de Calibración: IC0100809 Página 1 de 2

Este instrumento ha sido calibrado en términos del estándar recomendado por el fabricante (Testo AG de Alemania) y con patrones establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de USA (EPA). Este instrumento se encuentra dentro de las especificaciones establecidas.

Especificaciones del Fabricante: X Otros: _____

La documentación y procedimientos establecidos para la realización de las calibraciones se encuentran en nuestros archivos y están disponibles para su revisión.

Temperatura: 16.7°C Fecha de Calibración: 14/08/2009
Humedad Relativa: 90.5% Lugar de Calibración: Instruments Lab SAC
Intervalo de Calibración: Doce (12) meses Fecha de Vencimiento: Agosto 2010

Nota: Cualquier valor de Desviación Permitida que se encuentre fuera del rango establecido implica una necesidad de cambio del accesorio evaluado.

Este documento solo se aplica al instrumento indicado líneas arriba y no deberá ser reproducido, sin la autorización escrita aprobada por nuestra empresa.

Los estándares siguientes fueron usados como referencia para esta calibración:

Fabricante	Descripción	N° de Producto	Estándar	Fecha de Caducidad
PRAXAIR S.A.	Gas Patrón: 1000 ppm CO 1.50% O ₂	Lote: 010111588 Código: 60000166 Certificado: 08/000012	Certificado	Enero 2013
AIRGAS	Gas Patrón: 995 ppm SO ₂ Balance Nitrógeno	Parte N°: X02NI99C33A0WSC Referencia N°: 82-124166637-7 Cilindro N°: FF2122	Certificado	Febrero 2011
AIRGAS	Gas Patrón: 307.4 ppm NO Balance Nitrógeno	Parte N°: E02NI99E33A07YC Referencia N°: 82-124119315-1 Cilindro N°: FF43363	EPA Protocolo	Diciembre 2009

INSTRUMENTS LAB S.A.C.

Ing. José Nakamura
Gerente General

Tabla N° 11:Registro correspondiente al mes de diciembre del 2009.

Fecha de medición	Tiempo de medición	Temperatura Promedio(°C)	Humedad Relativa Promedio (%)
01/12/2009	23 horas	22.791	84.087
02/12/2009	24 horas	23.129	85.167
03/12/2009	24 horas	21.963	90.333
04/12/2009	24 horas	24.342	76.5
05/12/2009	24 horas	24.133	84.75
06/12/2009	24 horas	23.179	83.75
07/12/2009	24 horas	24.054	74.417
08/12/2009	24 horas	24.138	79.167
09/12/2009	24 horas	23.554	81
10/12/2009	18 horas	23.9	79.056
11/12/2009	24 horas	22.908	83.75
12/12/2009	24 horas	23.413	82.583
13/12/2009	24 horas	21.242	86.25
14/12/2009	17 horas	23.859	78.471
15/12/2009	22 horas	22.527	87.318
16/12/2009	24 horas	23.996	80.417
17/12/2009	24 horas	22.246	88.125
18/12/2009	24 horas	20.913	91.167
19/12/2009	24 horas	23.013	84.125
20/12/2009	20 horas	22.47	85.95
21/12/2009	24 horas	22.354	83.833
22/12/2009	24 horas	24.013	82.042
23/12/2009	18 horas	25.861	76.333
25/12/2009	23 horas	22.93	87.826
26/12/2009	24 horas	24.533	77.625
27/12/2009	24 horas	22.792	87.583
28/12/2009	24 horas	23.875	81.333
29/12/2009	24 horas	24.308	72.333
30/12/2009	15 horas	26.573	61.133

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Tabla N° 12:Registro correspondiente al mes de enero del 2010.

Fecha de medición	Tiempo de medición	Temperatura Promedio(°C)	Humedad Relativa Promedio (%)
01/01/2010	23 horas	24.878	76.391
02/01/2010	21 horas	25.795	69.714
03/01/2010	23 horas	25.3	73.957
04/01/2010	24 horas	20.954	92.458
05/01/2010	24 horas	23.171	80.375
06/01/2010	24 horas	24.642	79.042
07/01/2010	24 horas	20.25	89.667
08/01/2010	24 horas	21.463	89.333
09/01/2010	24 horas	24.233	76
10/01/2010	24 horas	24.658	77.792
11/01/2010	24 horas	23.442	77.833
12/01/2010	24 horas	23.883	70.75
13/01/2010	24 horas	24.529	69.625
14/01/2010	24 horas	24.113	74.708
15/01/2010	24 horas	21.188	91.125
16/01/2010	23 horas	21.017	89.435

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Tabla N° 13:Registro correspondiente al mes de febrero del 2010.

Fecha de medición	Tiempo de medición	Temperatura Promedio(°C)	Humedad Relativa Promedio (%)
01/02/2010	24 horas	20.935	93.739
02/02/2010	24 horas	22.896	89.333
03/02/2010	24 horas	22.8	91.75
04/02/2010	24 horas	22.538	92.25
05/02/2010	24 horas	23.2	89.167
06/02/2010	24 horas	23.208	90.875
07/02/2010	24 horas	21.642	87.208
08/02/2010	24 horas	23.996	81.167
09/02/2010	24 horas	24.429	80
10/02/2010	24 horas	24.4	79.875
11/02/2010	24 horas	24.983	71.333
12/02/2010	24 horas	25.854	74.458
13/02/2010	24 horas	24.692	80.833
14/02/2010	24 horas	24.779	80
15/02/2010	24 horas	24.829	81.5
16/02/2010	24 horas	25.1	82.75
17/02/2010	24 horas	23.833	86.958
18/02/2010	24 horas	24.325	81.333
19/02/2010	24 horas	24.638	81.333
20/02/2010	24 horas	23.704	87.917
21/02/2010	24 horas	24.479	82.208
22/02/2010	24 horas	23.463	89.375
23/02/2010	24 horas	23.554	87.042
24/02/2010	24 horas	22.813	90.375
25/02/2010	24 horas	21.775	90.208
26/02/2010	10 horas	19.98	93.4

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Tabla N° 14:Registro correspondiente al mes de marzo del 2010.

Fecha de medición	Tiempo de medición	Temperatura Promedio(°C)	Humedad Relativa Promedio (%)
01/03/2010	24 horas	23.604	81.826
02/03/2010	24 horas	22.442	90.625
03/03/2010	24 horas	23.783	83.167
04/03/2010	24 horas	24.204	81.958
05/03/2010	24 horas	24.442	83.083
06/03/2010	24 horas	24.983	84.083
07/03/2010	24 horas	25.3	80.792
08/03/2010	24 horas	24.129	86.292
09/03/2010	24 horas	24.764	84.375
10/03/2010	14 horas	21.629	95.071
11/03/2010	24 horas	23.988	85.25
12/03/2010	3 horas	20.933	93
13/03/2010	19 horas	22.463	89.421
14/03/2010	24 horas	25.046	79.833
15/03/2010	24 horas	24.958	76.167
16/03/2010	24 horas	22.696	85.875
17/03/2010	12 horas	23.125	86.917
18/03/2010	18 horas	21.324	90.471
19/03/2010	10 horas	25.46	76.8
20/03/2010	24 horas	23.9	82.79
21/03/2010	24 horas	24.975	78.958
22/03/2010	24 horas	24.396	78.125
23/03/2010	24 horas	24.708	76.458
24/03/2010	24 horas	23.617	77.583
25/03/2010	5 horas	23.86	83.4
26/03/2010	9 horas	25.311	77.556
27/03/2010	18 horas	25.011	80.944
28/03/2010	11 horas	23.945	82.545
29/03/2010	18 horas	24.1	84.9

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Tabla N° 15:Resumen de los registros de temperatura ambiental y humedad relativa por meses.

Año	Mes	Temperatura Promedio (°C)	Humedad Relativa Promedio (%)
2009	Diciembre	23.4	81.9
2010	Enero	23.3	79.9
2010	Febrero	23.6	85.2
2010	Marzo	23.9	83.4

Fuente: Estación de monitoreo VANTAGE PRO 2.

DATOS OBTENIDOS PARA LOS ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS E INTERVALOS DE CONFIANZA USANDO EL SPSS V17.

Descriptives variables=co nox so2 /statistics=mean stddev variance min max.

Descriptivos

[Conjunto_de_datos0]

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
CO	11	33,88	2628,38	771,2027	1006,75781	1013561,290
NOx	11	,00	171,99	78,0755	51,97431	2701,328
SO2	11	,00	80,30	15,9415	29,84716	890,853
N válido (según lista)	11					

T-TEST /TESTVAL=0 /MISSING=ANALYSIS /VARIABLES=CO NOx SO2 /CRITERIA=CI(0.975).

Prueba T

Notas

Resultados creados	30-dic-2010 06:45:04	
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	Conjunto_de_datos0
	Filtro	<ninguno>
	Peso	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	Núm. de filas del archivo de trabajo	11
Tratamiento de los valores perdidos	Definición de los perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos de cada análisis se basan en los casos que no tienen datos perdidos ni quedan fuera de rango en cualquiera de las variables del análisis.
Sintaxis		T-TEST /TESTVAL=0 /MISSING=ANALYSIS /VARIABLES=CO NOx SO2 /CRITERIA=CI(.95).
Recursos	Tiempo de procesador	0:00:00.000
	Tiempo transcurrido	0:00:00.031

[Conjunto_de_datos0]

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
CO	11	771,2027	1006,75781	303,54890
NOx	11	78,0755	51,97431	15,67084
SO2	11	15,9415	29,84716	8,99926

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 0					
					97,5% Intervalo de confianza para la diferencia	
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
CO	2,541	10	,029	771,20273	94,8536	1447,5518
NOx	4,982	10	,001	78,07545	43,1586	112,9923
SO2	1,771	10	,107	15,94155	-4,1100	35,9931

Descriptivos

Notas

Resultados creados	30-dic-2010 08:59:54	
Comentarios		
Entrada	Datos	C:\Users\USUARIO\Documents\Alcidia.sav
	Conjunto de datos activo	Conjunto_de_datos0
	Filtro	<ninguno>
	Peso	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	Núm. de filas del archivo de trabajo	80
Manipulación de los valores perdidos	Definición de los perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario son considerados como perdidos.
	Casos utilizados	Se han utilizado todos los datos no perdidos.
Sintaxis	DESCRIPTIVES VARIABLES=VARCO VARNOx VARSO2 VARCO2 VAROxi /STATISTICS=MEAN STDDEV VARIANCE MIN MAX SEMEAN.	
Recursos	Tiempo de procesador	0:00:00.000
	Tiempo transcurrido	0:00:00.013

[Conjunto_de_datos0] C:\Users\USUARIO\Documents\Alcidia.sav

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
VARCO	80	7,00	1017,00	274,4000	34,62966	309,73707	95937,053
VARNOx	80	1,00	111,00	45,5125	3,29187	29,44336	866,911
VARSO2	80	,00	101,00	1,3125	1,26211	11,28861	127,433
VARCO2	80	,11	4,39	2,3661	,12149	1,08666	1,181
VAROxi	80	14,70	20,74	18,4400	,12921	1,15566	1,336
N válido (según lista)	80						

Prueba T

Notas

Resultados creados		30-dic-2010 09:03:42
Comentarios		
Entrada	Datos	C:\Users\USUARIO\Documents\Aldidia.sav
	Conjunto de datos activo	Conjunto_de_datos0
	Filtro	<ninguno>
	Peso	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	Núm. de filas del archivo de trabajo	80
Tratamiento de los valores perdidos	Definición de los perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos de cada análisis se basan en los casos que no tienen datos perdidos ni quedan fuera de rango en cualquiera de las variables del análisis.
Sintaxis		T-TEST /TESTVAL=0 /MISSING=ANALYSIS /VARIABLES=VARCO VARNOx VARSO2 VARCO2 VAROxi /CRITERIA=CI(.95).
Recursos	Tiempo de procesador	0:00:00.016
	Tiempo transcurrido	0:00:00.014

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
VARCO	80	274,4000	309,73707	34,62966
VARNOx	80	45,5125	29,44336	3,29187
VARSO2	80	1,3125	11,28861	1,26211
VARCO2	80	2,3661	1,08666	,12149
VAROxi	80	18,4400	1,15566	,12921

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 0					
					97,5% Intervalo de confianza para la diferencia	
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
VARCO	7,924	79	,000	274,40000	205,4714	343,3286
VARNOx	13,826	79	,000	45,51250	38,9602	52,0648
VARSO2	1,040	79	,302	1,31250	-1,1997	3,8247
VARCO2	19,476	79	,000	2,36613	2,1243	2,6079
VAROxi	142,717	79	,000	18,44000	18,1828	18,6972

FREQUENCIES VARIABLES=VARCO VARNOx VARSO2 VARCO2 VAROxi
/STATISTICS=MEAN MEDIAN MODE /ORDER=ANALYSIS.

Frecuencias

Notas

Resultados creados		30-dic-2010 09:06:49
Comentarios		
Entrada	Datos	C:\Users\USUARIO\Documents\Alc idia.sav
	Conjunto de datos activo	Conjunto_de_datos0
	Filtro	<ninguno>
	Peso	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	Núm. de filas del archivo de trabajo	80
Manipulación de los valores perdidos	Definición de los perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos se basan en todos los casos con datos válidos.
Sintaxis		FRECUENCIES VARIABLES=VARCO VARNOx VARSO2 VARCO2 VAROxi /STATISTICS=MEAN MEDIAN MODE /ORDER=ANALYSIS.
Recursos	Tiempo de procesador	0:00:00.016
	Tiempo transcurrido	0:00:00.021

Estadísticos

		VARCO	VARNOx	VARSO2	VARCO2	VAROxi
N	Válidos	80	80	80	80	80
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		274,4000	45,5125	1,3125	2,3661	18,4400
Mediana		74,0000	44,0000	,0000	2,3100	18,5900
Moda		17,00 ^a	50,00	,00	1,28 ^a	18,73 ^a

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.